Mihai - Tiberiu LATEŞ

Sisteme Eoliene

Teorie şi Practică

Editura Universităţii Transilvania
Braşov - 2012

Mihai-Tiberiu LATEŞ

SISTEME EOLIENE

Teorie şi Practică

EDITURA UNIVERSITĂŢII TRANSILVANIA

Braşov – 2012

Coperta: Dr. ing. Raluca Septimia LATEŞ
Tehnoredactare: Conf.dr.ing. Mihai – Tiberiu LATEŞ

Referenţi ştiinţifici: Prof.dr.ing. Radu VELICU
Şef lucr.dr.ing. Cornel Cătălin GAVRILĂ

PREFAŢĂ

Prezenta lucrare îşi propune să prezinte aspecte teoretice şi practice în domeniul sistemelor eoliene, constituindu-se într-un suport util, care se adresează, în principal, studenţilor de la specializarea **Ingineria Sistemelor de Energii Regenerabile**, precum şi celor de la studiile de master, din domeniu, fiind un suport deosebit de util al disciplinei **Sisteme Eoliene**, la care autorul, este titular.

Lucrarea este structurată pe 21 capitole. Elementele introductive şi primul capitol evidenţiază bazele teoretice privind sistemele eoliene; în continuare, se prezintă aplicaţii practice în domeniul sistemelor eoliene, urmărindu-se prezentarea graduală a acestora, de la simplu la complex.

Fiecare aplicaţie, prezentată detaliat, cuprinde: o primă parte în care este prezentat obiectivul aplicaţiei şi suportul teoretic al acesteia; un subcapitol în care sunt prezentate echipamentele utilizate în testări; o parte în care sunt prezentate etapele practice necesare realizării aplicaţiei; un subcapitol de prezentare a rezultatelor; o parte finală de concluzii; o listă cu bibliografia care a stat la baza întocmirii aplicaţiei.

Echipamentele utilizate în aplicaţiile practice se află în dotarea Departamentului Design de Produs, Mecatronică şi Mediu, Facultatea Design de Produs şi Mediu, Universitatea *Transilvania* din Braşov.

*

"Din cunoştinţele mele, lucrarea **Sisteme Eoliene. Teorie şi Practică**, autor **Conf.dr.ing. Mihai-Tiberiu LATEŞ**, reprezintă o premieră pe plan naţional, fiind prima lucrare din ţară care prezintă atât aspecte teoretice cât şi lucrări practice în domeniul sistemelor eoliene."

Prof.univ.dr.ing. Radu VELICU
Recenzent

"Lucrarea, o premieră în domeniu, constituie un suport teoretic şi practic extrem de util care se adresează, în principal, studenţilor de la specializările **Ingineria Sistemelor de Energii Regenerabile**, precum şi celor de la studiile de master din acest domeniu, constituind suportul disciplinei de **Sisteme Eoliene**, la care autorul, **dr.ing. Mihai Tiberiu LATEŞ**, este de mai mulţi ani titular. Prin informaţiile oferite, cartea reprezintă, de asemenea, o sursă importantă de cunoştinţe şi pentru doctoranzii şi cercetătorii din domeniul sistemelor eoliene."

Şef lucr.univ. dr.ing. Cornel Cătălin GAVRILĂ
Recenzent

*

Mulţumiri deosebite sunt adresate recenzenţilor prezentei lucrări, domnului ***prof.dr.ing. Radu Velicu*** *şi domnului* ***şef lucr.dr.ing. Cornel Cătălin Gavrilă****, pentru observaţiile pertinente şi sprijinul permanent.*

Autorul adresează mulţumiri colaboratorilor care au contribut, direct sau indirect, la realizarea prezentei lucrări: ***dr.ing. Raluca Lateş****,* ***dr.ing. Ionela Negrea****,* ***dr.ing. Bogdan Burduhos****,* ***tehn. Vasile Pop****,* ***tehn. Florentina Bârsan-Pipu****.*

Der Autor richtet einen besonderen Dank an Herrn ***Rudolf Heckmann,*** *an Herrn* ***Thomas Stumpp*** *(G.U.N.T. Gerätebau GmbH – Barsbüttel, Deutschland) und an Herrn* ***Holger Kunsch*** *(IKS Photovoltaik GmbH – Kassel, Deutschland) aus, für die gute Zusammenarbeit, für die Unterstützung bei der Herausgabe dieses Buches und, nicht zuletzt, für die hohe Qualität der Ausstattung, die von den erwähnten Unternehmen gekauft worden ist und die für die praktische Anwendung, die in der Arbeit vorgestellt worden ist, benützt wurde.*

*

Editarea și tipărirea prezentei lucrări a fost posibilă prin finanțarea realizată parțial din proiectul „Cercetări teoretice și experimentale asupra cuplajelor tripode cu contacte exterioare”, contract AT cu MEC nr. 33369/29.06.2004, cod CNCSIS 171, tema 3, director de proiect dr.ing. Mihai-Tiberiu Lateș.

Utilizarea figurilor și a informațiilor tehnice despre echipamentele prezentate în lucrare a fost realizată cu acordul firmelor de proveniență a echipamentelor – G.U.N.T. Gerätebau GmbH, IKS Photovoltaik GmbH și LP Electric Systems.

CUPRINS

PREFAŢĂ..... 3
ELEMENTE INTRODUCTIVE..... 9
1. STUDIUL FACTORILOR CARE INFLUENŢEAZĂ ALEGEREA SISTEMELOR EOLIENE..... 19
1.1. Obiectivul aplicaţiei..... 19
1.2. Elemente teoretice..... 19
1.3. Aplicaţie..... 23
1.4. Rezultate..... 24
1.5. Concluzii..... 24
Bibliografie..... 24
2. MĂSURAREA VITEZEI VÂNTULUI CU ANEMOMETRUL CU CUPE ŞI CU ANEMOMETRUL TERMIC..... 25
2.1. Obiectivul aplicaţiei..... 25
2.2. Echipamente..... 26
2.3. Testări..... 27
2.4. Rezultate..... 27
2.5. Concluzii..... 27
Bibliografie..... 28
3. TRASAREA CURBEI DE PUTERE PENTRU O TURBINĂ EOLIANĂ CU AX ORIZONTAL..... 29
3.1. Obiectivul aplicaţiei..... 29
3.2. Echipamente..... 30
3.3. Testări..... 32
3.4. Rezultate..... 33
3.5. Concluzii..... 33
Bibliografie..... 33
4. STUDIUL INFLUENŢEI FORMEI PALELOR TURBINEI EOLIENE CU AX ORIZONTAL ASUPRA CURBEI DE PUTERE..... 35
4.1. Obiectivul aplicaţiei..... 35
4.2. Echipamente..... 35
4.3. Testări..... 38
4.4. Rezultate..... 39
4.5. Concluzii..... 39
Bibliografie..... 41
5. STUDIUL INFLUENŢEI NUMĂRULUI PALELOR TURBINEI EOLIENE CU AX ORIZONTAL ASUPRA CURBEI DE PUTERE..... 43
5.1. Obiectivul aplicaţiei..... 43
5.2. Echipamente..... 43
5.3. Testări..... 46

5.4. Rezultate..... 47
5.5. Concluzii..... 47
Bibliografie..... 48
6. STUDIUL INFLUENŢEI UNGHIULUI DE ÎNCLINARE A PALEI TURBINEI EOLIENE CU AX ORIZONTAL ASUPRA PUTERII GENERATE..... 49
6.1. Obiectivul aplicaţiei..... 49
6.2. Echipamente..... 49
6.3. Testări..... 51
6.4. Rezultate..... 52
6.5. Concluzii..... 53
Bibliografie..... 53
7. TRASAREA CURBEI DE PUTERE PENTRU O TURBINĂ EOLIANĂ DE TIP SAVONIUS..... 55
7.1. Obiectivul aplicaţiei..... 55
7.2. Echipamente..... 55
7.3. Testări..... 58
7.4. Rezultate..... 59
7.5. Concluzii..... 60
Bibliografie..... 60
8. STUDIUL SISTEMELOR EOLIENE IZOLATE..... 61
8.1. Obiectivul aplicaţiei..... 61
8.2. Echipamente..... 61
8.3. Testări..... 64
8.4. Rezultate..... 66
8.5. Concluzii..... 66
Bibliografie..... 67
9. STUDIUL ÎNCĂRCĂRII BATERIILOR UTILIZATE ÎN SISTEMELE EOLIENE..... 69
9.1. Obiectivul aplicaţiei..... 69
9.2. Echipamente..... 69
9.3. Testări..... 72
9.4. Rezultate..... 74
9.5. Concluzii..... 74
Bibliografie..... 74
10. STUDIUL CARACTERISTICII CURENT – TENSIUNE PENTRU O TURBINĂ EOLIANĂ..... 75
10.1. Obiectivul aplicaţiei..... 75
10.2. Echipamente..... 75
10.3. Testări..... 78
10.4. Rezultate..... 79
10.5. Concluzii..... 80

Bibliografie..... 80
11. STUDIUL COMPORTĂRII INVERTORULUI UNUI SISTEM EOLIAN..... 81
11.1. Obiectivul aplicaţiei..... 81
11.2. Echipamente..... 81
11.3. Testări..... 84
11.4. Rezultate..... 85
11.5. Concluzii..... 86
Bibliografie..... 86
12. STUDIUL VARIAŢIEI VITEZEI AERULUI GENERAT DE UN TUNEL AERODINAMIC..... 87
12.1. Obiectivul aplicaţiei..... 87
12.2. Echipamente..... 87
12.3. Testări..... 89
12.4. Rezultate..... 90
12.5. Concluzii..... 90
Bibliografie..... 90
13. TRASAREA CURBEI DE PUTERE PENTRU O TURBINĂ EOLIANĂ DE MICĂ PUTERE DE TIP *AirX*..... 91
13.1. Obiectivul aplicaţiei..... 91
13.2. Echipamente..... 92
13.3. Testări..... 95
13.4. Rezultate..... 96
13.5. Concluzii..... 97
Bibliografie..... 97
14. MĂSURAREA FORŢELOR DE ANTRENARE ŞI DE PORTANŢĂ CARE ACŢIONEAZĂ ASUPRA UNUI ELEMENT AERODINAMIC..... 99
14.1. Obiectivul aplicaţiei..... 99
14.2. Echipamente..... 99
14.3. Testări..... 104
14.4. Rezultate..... 106
14.5. Concluzii..... 106
Bibliografie..... 106
15. MĂSURAREA FORŢELOR DE ANTRENARE ŞI DE PORTANŢĂ CARE ACŢIONEAZĂ ASUPRA SECŢIUNII TRANSVERSALE A UNEI PALE..... 107
15.1. Obiectivul aplicaţiei..... 107
15.2. Echipamente..... 107
15.3. Testări..... 112
15.4. Rezultate..... 114
15.5. Concluzii..... 114
Bibliografie..... 114

16. MĂSURAREA FORŢELOR DE ANTRENARE ŞI DE PORTANŢĂ CARE ACŢIONEAZĂ ASUPRA UNUI ELEMENT AERODINAMIC CILINDRIC 115
16.1. Obiectivul aplicaţiei 115
16.2. Echipamente 115
16.3. Testări 120
16.4. Rezultate 121
16.5. Concluzii 121
Bibliografie 122
17. STUDIUL DISTRIBUŢIEI PRESIUNII PE SUPRAFAŢA UNUI ELEMENT AERODINAMIC CILINDRIC 123
17.1. Obiectivul aplicaţiei 123
17.2. Echipamente 124
17.3. Testări 127
17.4. Rezultate 128
17.5. Concluzii 129
Bibliografie 129
18. STUDIUL INFLUENŢEI UNGHIULUI DE ATAC ASUPRA DISTRIBUŢIEI PRESIUNII PE SECŢIUNEA TRANSVERSALĂ A PALEI UNEI TURBINE EOLIENE 131
18.1. Obiectivul aplicaţiei 131
18.2. Echipamente 131
18.3. Testări 136
18.4. Rezultate 137
18.5. Concluzii 137
Bibliografie 142
19. STUDIUL CURGERII AERULUI PE SUPRAFEŢE PLANE 143
19.1. Obiectivul aplicaţiei 143
19.2. Echipamente 144
19.3. Testări 147
19.4. Rezultate 151
19.5. Concluzii 151
Bibliografie 152
20. STUDIUL PUTERII GENERATE DE O TURBINĂ EOLIANĂ DE TIP *ELE – 1kW* 153
20.1. Obiectivul aplicaţiei 153
20.2. Echipamente 154
20.3. Testări 155
20.4. Rezultate 156
20.5. Concluzii 156
Bibliografie 156

ELEMENTE INTRODUCTIVE

Utilizarea sistemelor eoliene cunoaşte o dezvoltare deosebită începând cu Protocolul de la Kyoto referitor la reducerea poluării. În anul 1997, 161 de ţări au semnat un acord prin care se impunea ca până în anul 2012 să se reducă gazele cu efect de seră cu 5,2% faţă de nivelul din 1990. Printre măsurile adoptate pentru îndeplinirea acestui obiectiv se numără şi dezvoltarea utilizării sistemelor de energie regenerabilă – în general – şi a sistemelor eoliene în special.

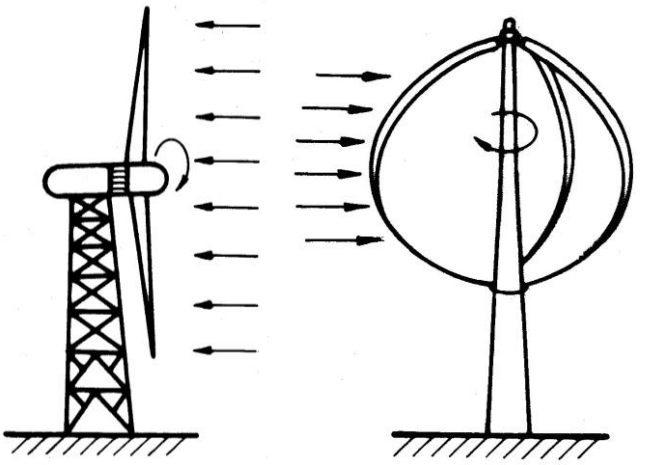


Fig.1. Turbine eoliene cu ax orizontal şi cu ax vertical

În anul 2007 a fost semnat de către ţările membre ale Uniunii Europene un document cadru care îşi propune atingerea obiectivului de 20% aport a energiei regenerabile în cadrul energiei totale utilizate de către fiecare stat membru UE, până în anul 2020. Prin obiectivul impus se deschid noi orizonturi în vederea utilizării pe scară largă a sistemelor eoliene, ca şi componente esenţiale în utilizarea sistemelor de energii regenerabile.

Clasificarea turbinelor eoliene se realizează în funcţie de o serie de caracteristici funcţionali – constructivi prezentaţi, în principal, în continuare.

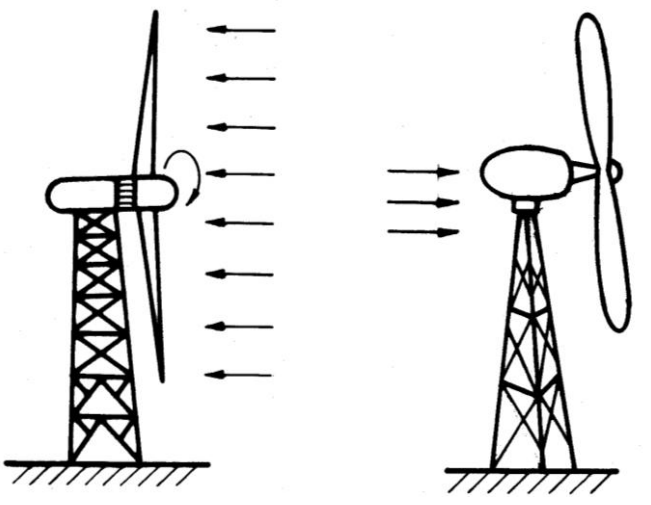
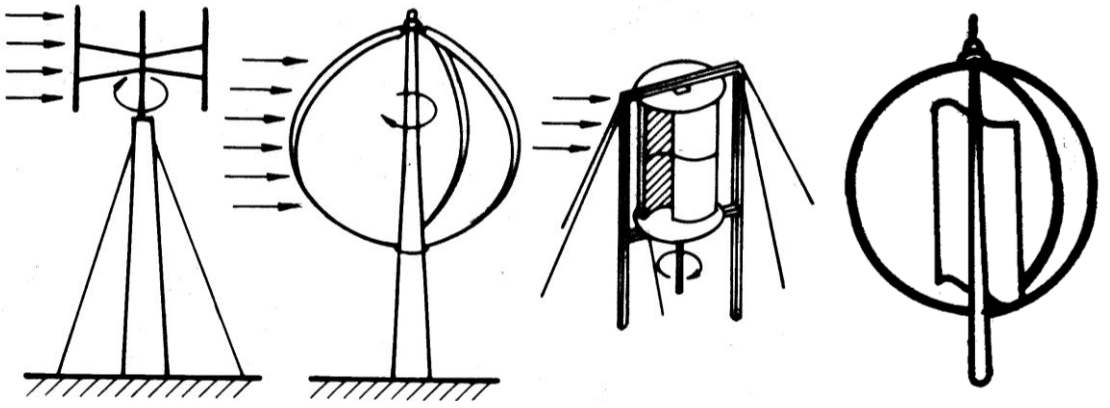


Fig.2. Acţiunea vântului

În funcţie de poziţia axei de rotaţie a rotorului, turbinele eoliene sunt cu ax orizontal sau cu ax vertical (fig.1) [5]. Acţiunea vântului asupra rotorului turbinelor eoliene cu ax orizontal poate fi din faţă sau din spate (fig.2) [5].

Turbinele cu ax vertical pot fi de tip *Darrieus* (fig.3, a, b), *Savonius* (fig.3, c) sau combinate (fig.3, d).

Turbinele cu ax orizontal au rotor cu 1 pală, 2 pale, 3 pale sau mai multe pale (fig.4) [5]. Pe un singur stâlp se poate monta un rotor sau mai mulţi – în acest caz rotorii se pot roti în acelaşi sens şi sunt montaţi pe arbori în poziţii diferite (fig.5, a) sau în sens contrar, fiind montaţi pe arbori coaxiali (fig.5, b) [5].



a b c d

Fig.3. Turbine cu ax vertical

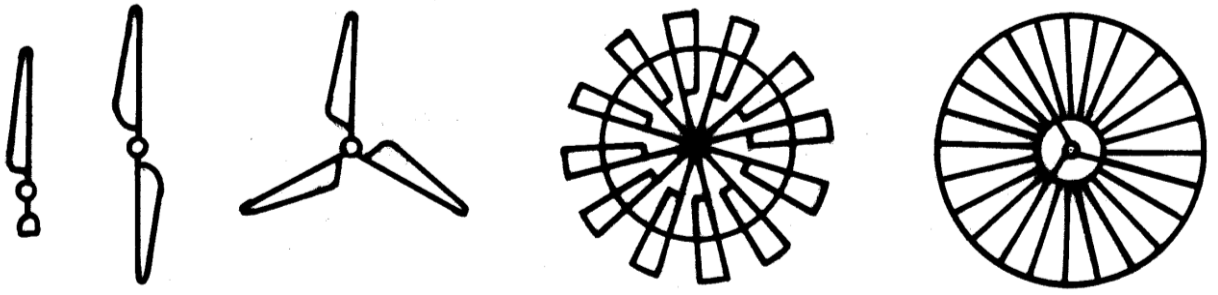
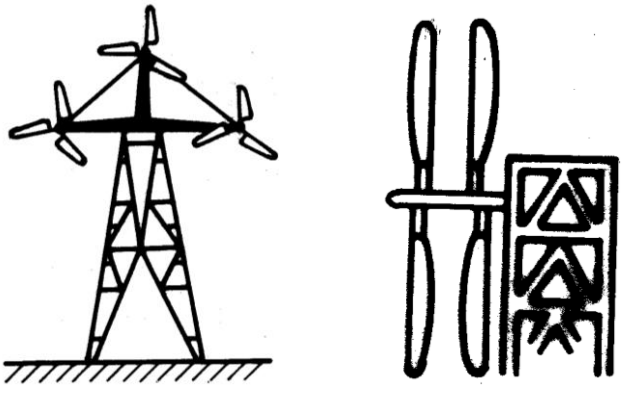


Fig.4. Tipuri de rotor

Turbinele eoliene pot fi montate pe uscat (*on-shore*) sau în apă (*off-shore*) – fig.6 [5].



a b

Fig.5. Turbină cu rotor multiplu

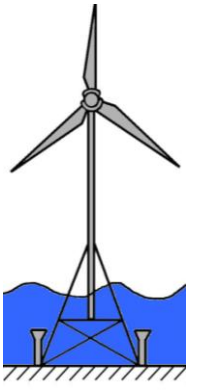


Fig.6. Turbină *off-shore*

În funcţie de puterea nominală generată, turbinele eoline sunt de putere mică (puterea nominală este mai mică de 10 kW), de putere medie (puterea nominală este între 10 kW şi 100 kW) sau de putere mare (puterea nominală este mai mare de 100 kW).

Turbinele eoliene de putere mică sunt utilizate cu precădere în aplicaţii domestice (pentru o familie); turbinele de putere medie se utilizează pentru o comunitate mică, de câteva familii sau pentru aplicaţii industriale (firme mici - medii) sau economice (cabane, pensiuni); turbinele eoliene de putere mare se utilizează în cazul comunităţilor mari, cu implemenetare pe sol (*on-shore*) sau în ocean (*off-shore*).

Elementele componente ale unei turbine eoliene sunt prezentate în figura 7 [5]. Nacela *6*, montată pe stâlpul *11*, conţine principalele elemente componente ale turbinei. Palele *1* sunt montate pe butucul *2*. Amplificatorul de turaţie *3* are rolul de a mări turaţia necesară la generatorul electric *9*. În cazul unor viteze mari ale vântului, care pot pune în pericol buna funcţionare a turbinei eoliene, cuplajul cu ambreiajul electromagnetic *4*, care primeşte comandă de la sistemul de control *7*, poate întrerupe rotaţia palelor. În cazul supraîncălzirii, ventilatorul *8* reduce temperatura sistemului. Anemometrul *5* măsoară viteza şi determină diercţia vântului; sistemul de pivotare *10* orientează turbina cu rotorul perpendicular pe direcţia de acţiune a vântului.

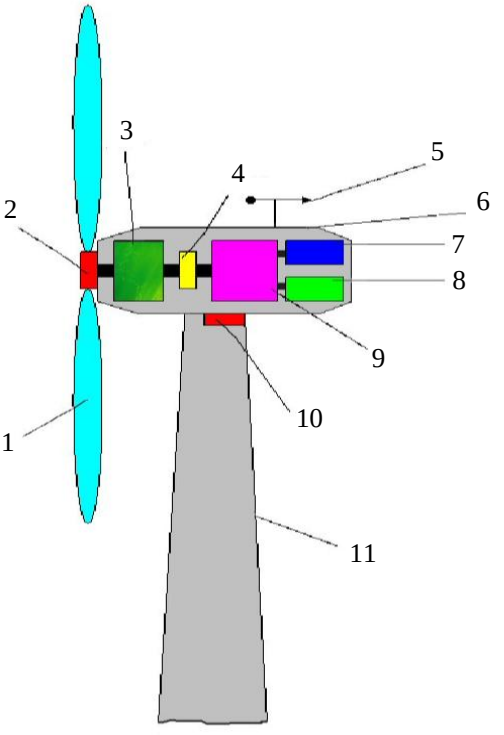


Fig.7. Componentele turbinei

Energia produsă într-o perioadă de timp de către turbina eoliană depinde caracteristicile constructive ale acesteia şi de potenţialul eolian al zonei (viteza vântului) în care turbina este instalată.

Un calcul aproximativ poate indica energia lunară produsă de o turbină [4]

$$W_l = \frac{D^2 v_m^3}{10}, \qquad (1)$$

în care: W_l [kWh] reprezintă energia produsă de turbină într-o lună; D [m] – diametrul rotorului; v_m [m/s] – viteza medie a vântului. Tabelul 1 prezintă, cu caracter orientativ, energia lunară produsă de turbinele eoliene, în funcţie de diametrul rotorului şi de viteza medie a vântului.

Tabelul 1. Energia lunară

Diametrul rotorului, m	**Viteza medie a vântului, m/s**			
	3	4	5	6
	Energia lunară, kWh			
1	2	6	10	20
2	10	25	50	70
3	20	60	100	160
4	40	100	200	280
5	60	160	300	430

Viteza medie lunară a vântului se calculează cu relaţia

$$v_m = \frac{\sum_{i=1}^{n} v_i \, t_i}{\sum_{i=1}^{n} t_i}, \tag{2}$$

unde v_i reprezintă viteza vântului pentru perioada t_i.

Necesarul de energie zilnică se calculează prin

$$W_C = \sum_{i=1}^{n} P_{ci} \, t_i \ , \tag{3}$$

în care: t_i reprezintă perioada de funcţionare a consumatorului *i*, într-o zi, exprimată în ore; pentru o casă, necesarul de energie este între 250 kWh/lună şi 300 kWh/lună.

Puterea P_{ci} a consumatorului *i*, pentru unii consumatori casnici este prezentată în tabelul 2.

Tabelul 2. Putere consumatori

Consumator	**Putere, W**	**Consumator**	**Putere, W**	**Consumator**	**Putere, W**
Bec economic	13	Mixer	300	Cafetieră	1000
Fier de călcat	1000	Cuptor micro	1500	Frigider	200
Aspirator	500	Maşină spălat	250	Aer condit.	1000
TV	150	CD player	35	Desktop PC	300
Imprimantă	35	Laptop	100	Drujbă	1100

Necesarul de putere electrică se determină cu relaţia

$$P_C = \frac{W_C}{24}. \tag{4}$$

Randamentul invertorului (necesar pentru a transforma curentul continuu în curent alternativ) este η_i = 80% ... 90%. În acest sens, necesarul de energie la generatorul eolian se calculează cu expresia

$$W_G = \frac{W_C}{\eta_i}. \tag{5}$$

Energia necesară a fi stocată în baterii se determină cu relaţia

$$W_b = U\sum_{i=1}^{n} I_i t_i \ , \tag{6}$$

unde: U reprezintă tensiunea; I_i – intensitatea curentului electric în perioada t_i. Se recomandă utilizarea bateriilor de 12 V pentru un necesar de energie mai mic de 150 kWh/lună, 24 V sau 48 V pentru un necesar de energie între 150 kWh/lună şi 700 kWh/lună şi baterii de 48 V pentru un necesar de energie mai mare de 700 kWh/lună. Valori ridicate ale tensiunii se aleg în cazul conectării cu cabluri lungi, pentru a reduce pierderile.

Cantitatea de curent furnizată de generator se determină cu relaţia

$$C_G = \frac{W_G}{U}(1+\lambda_S), \tag{7}$$

unde λ_S = 20% ... 25% reprezintă pierderile în sistem (baterii, controler, cabluri).

Pentru dimensionarea bateriilor se ţine seama de numărul de zile z în care viteza vântului este sub valoarea la care turbina eoliană dezvoltă puterea nominală; pentru siguranţă în exploatare se recomandă ca bateriile să funcţioneze la o capacitate de 80%. Cantitatea de curent necesară a fi stocată în baterii se determină cu relaţia

$$C_B = \frac{C_G\, z}{0{,}8}, \tag{8}$$

Numărul minim de baterii, montate în serie, se calculează prin

$$n_b = \frac{C_B}{C_b}, \tag{9}$$

unde C_b este cantitatea de curent care poate fi stocată într-o baterie, măsurată în Ah.

Cantitatea de curent care poate fi stocată într-o baterie se determină cu relaţia

$$C_b = \frac{E_z z}{DU}, \tag{10}$$

în care: E_z reprezintă energia zilnică produsă, în Wh; z – numărul de zile în care generatorul eolian nu produce energie; D – gradul de descărcare al bateriilor (0,5 pentru bateriile utilizate la automobile; 0,8 pentru bateriile din sistemele fotovoltaice; 1 pentru bateriile Nichel Cadmiu).

Puterea turbinei eoliene P_t se alege mai mare decât puterea necesară P_C. Ţinând seama de tensiunea U_t la care lucrează generatorul eolian şi de numărul de ore t_t în care viteza vântului asigură generarea puterii nominale, se determină cantitatea de curent care poate fi furnizată de o turbină

$$C_t = \frac{P_t}{U_t} t_t. \tag{11}$$

Numărul de turbine eoliene conectate în paralel, necesare pentru a furniza energia dorită, se calculează prin

$$n_t = \frac{C_B}{C_t}. \tag{12}$$

Puterea invertorului se determină prin

$$P_i = 1{,}35 P_C. \tag{13}$$

Tabelul 3 se prezintă o aplicaţie pentru calculul necesarului de energie.

Pentru alegerea sistemului eolian se ţine seama de următoarele aspecte:

- se studiază datele meteo referitoare la viteza şi direcţia vântului, în locaţia unde urmează să fie instalată turbina eoliană (se calculează viteza medie a vântului pentru fiecare lună a anului; se identifică lunile cu viteza vântului redusă şi, în acest sens, se dimensionează bateriile cu capacitate de stocare adecvată perioadei de inactivitate a generatorului eolian; calculele de rezistenţă se realizează pentru valorile maxime posibile ale vântului);
- potenţialul eolian se calculează ţinând seama de viteza medie lunară a vântului (v. rel (1));
- se compară energia lunară necesară (incluzând pierderile în sistem) cu potenţialul eolian; se identifică tipul de turbină eoliană adecvată;

Tabelul 3. Necesarul de energie

Aplicaţie	**Putere, W**	**Nr. bucăţi**	**Nr. ore de funcţionare, pe zi**	**Energie zilnică necesară, Wh**	**Energie lunară necesară, kWh**
Bec economic	13	6	4	312	9,36
TV	150	1	4	600	18
Laptop	100	1	2	200	6
Frigider	200	1	4	800	24
Cafetieră	1000	1	0,5	500	15
Energia totală necesară				2412	72,36
Energia totală, cu pierderi în baterii (x 1,25)				3015	90,45
Energia totală, cu pierderi în invertor (x 1,1)				3316,5	**99,495**
Puterea maximă necesară, W	**100,5**				

- se dimensionează bateriile considerând o perioadă de o săptămână de inactivitate a generatorului eolian; se pot lua în considerare şi surse alternative de energie (panouri fotovoltaice, generator diesel electric, sistem micro-hidro).

Tabelul 4 prezintă energia estimată a fi produsă de o turbină eoliană de tip *ELE – 1 kW* cu diametrul rotorului de 3,1m, în cazul a două situaţii de viteză medie a vântului: 3 m/s şi 5 m/s.

Tabelul 4. Energia produsă de o turbină eoliană de tip *ELE – 1 kW*

	Exemplul 1	**Exemplul 2**
Viteza medie lunară, m/s	3	5
Energie lunară necesară, kWh	99,495	99,495
Energia lunară produsă de turbină, kWh	25,947	**120,125**

În cazul unei producţii de energie insuficientă se pot utilize mai multe sisteme eoliene sau un sistem hibrid (compus din turbină eoliană şi panouri fotovoltaice sau generator diesel electric sau sistem micro-hidro).

Puterea generată de o turbină eoliană depinde de viteza vântului, conform relaţiei [2, 4]

$$P = 0.5\rho v^3 A C_p , \tag{14}$$

în care: ρ reprezintă densitatea aerului (ρ=1.2255 kg/m^3 la nivelul mării); v – viteza vântului; A – aria rotorului turbinei; C_p – coeficientul de putere [2, 4]

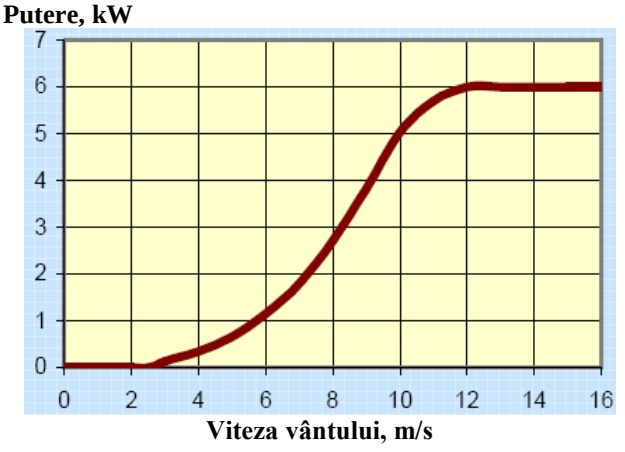


Fig.8. Curba de putere

$$C_p = \eta_m \eta_e \eta_a , \tag{15}$$

unde: η_m reprezintă randamentul transmisiei mecanice (η_m=0.95 … 0.97); η_e – radamentul componentelor electrice (η_e=0.97 … 0.98); η_a – eficienţa aerodinamică (depinde de caracteristicile zonei în care se realizează măsurătorile şi are valoarea teoretică maximă η_a=0.59, stabilită de *Betz*).

Viteza vântului este un parametru care influenţează în mod hotărâtor alegerea turbinei eoliene ţinând seama de influenţa vitezei vântului asupra curbei de putere a turbinei (fig.8). În alegerea turbinei eoliene trebuie să se ţină seama de viteza vântului la care aceasta începe să genereze puterea nominală ("*nominal wind speed*" – 12 m/s – fig.8) şi de viteza vântului la care aceasta începe să funcţioneze ("*cut-in wind speed*" – 3 m/s – fig.8).

Identificarea celor doi parametri se realizează prin studiul bazei de date referitoare la viteza vântului (această bază de date poate fi realizată de către utilizator sau firme specializate prin măsurători sau prin cumpărarea bazelor de date de la instituţiile specializate – Administraţia Naţională de Meteorologie – ANM).

Variaţia coeficientului de putere C_p este prezentată în figura 9, în funcţie de parametrul λ (raportul dintre viteza rotorului şi viteza vântului), pentru tipurile principale de rotor [2].

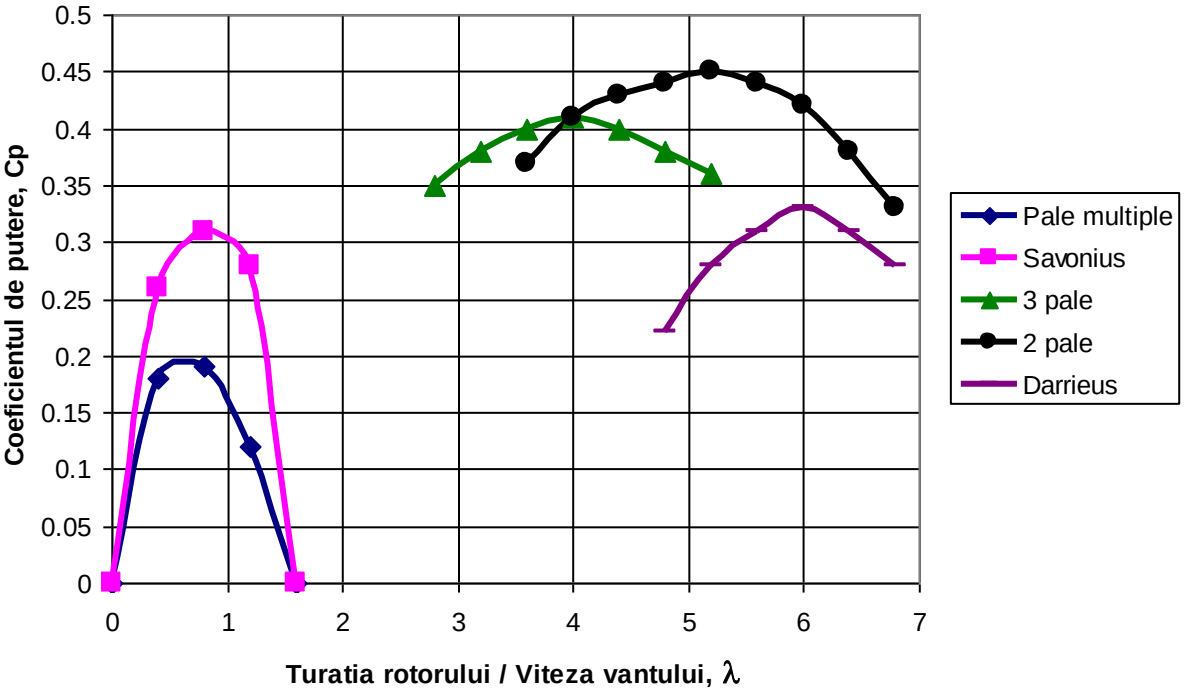


Fig.9. Variaţia coeficientului de putere

Bibliografie

1. Bârsan, L., Bârsan, A., Boloş, C., Lateş, M. T. Ecodesign în contextul dezvoltării durabile. Braşov, Editura Universităţii Transilvania, 2009.
2. Bostan, I. ş.a. Sisteme de conversie a energiilor regenerabile. Editura Tehnica-Info, Chişinău, 2007.
3. Hansen, M. O. L. Aerodynamics of Wind Turbines. 2nd Edition. Earthscan Publishing House, London, 2008.
4. Khennas, S., Dunnett, S., Piggott, H. Small Wind Sytems for Rural Energy Services. Practical Action Publishing, India, 2008.
5. Vişa, I., Duţă, A. Sustainable Energy. Braşov, Editura Universităţii Transilvania, 2008.

Aplicaţia 1

STUDIUL FACTORILOR CARE INFLUENŢEAZĂ ALEGEREA SISTEMELOR EOLIENE

1.1. Obiectivul aplicaţiei

Alegerea sistemelor eoliene este un proces complex influenţat de parametrii care influneţează funcţionarea acestora: datele meteo (viteza şi direcţia vântului); necesarul de energie; mentenanţă; locaţie; costurile de implementare şi de mentenanţă.

Aplicaţia îşi propune să realizeze studiul factorilor (potenţial eolian, necesar de energie, tensiune de lucru) care influenţează funcţionarea sistemelor eoliene şi alegerea, în funcţie de aceşti factori, a unui sistem eolian cu destinaţie concretă.

1.2. Elemente teoretice

Viteza vântului este un parametru care influenţează în mod hotărâtor alegerea turbinei eoliene ţinând seama de influenţa vitezei vântului asupra curbei de putere a turbinei (fig.1.1). În alegerea turbinei eoliene trebuie să se ţină seama de viteza vântului la care aceasta începe să genereze puterea nominală ("*nominal wind speed*" – 12 m/s – fig.1.1) şi de viteza vântului la care aceasta începe să funcţioneze ("*cut-in wind speed*" – 3 m/s – fig.1.1).

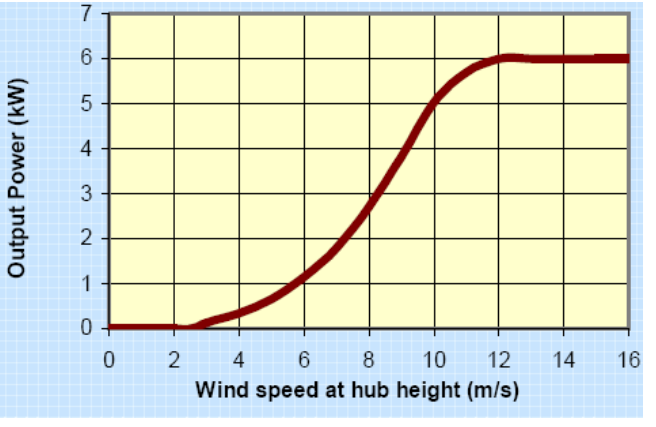


Fig.1.1. Curba de putere

Identificarea celor doi parametrii se realizează prin studiul bazei de date referitoare la viteza vântului (această bază de date poate fi realizată de către utilizator sau firme specializate prin măsurători sau prin cumpărarea bazelor de date de la instituţiile specializate – Administraţia Naţională de Meteorologie – ANM).

Pe site-ul ANM (www.meteoromania.ro) există baze de date lunare, referitoare la viteza vântului, disponibile pentru diferite staţii meteo din ţară (fig.1.2); prin parcurgerea secţiunii ***grafice*** se accesează baza de date on-line. Din listă, se selectează staţia meteo, se alege data pentru luna în care se generează baza de date şi apoi se selectează graficul dorit – ***Synop – Viteza vântului*** (fig.1.3). Graficul indică variaţia lunară a vitezei medii, minime şi maxime a vântului pentru staţia meteorologică Miercurea Ciuc (fig.1.4). Viteza medie lunară se calculează cu relaţia

$$v_m = \frac{\sum_{i=1}^{n} v_i\, t_i}{\sum_{i=1}^{n} t_i}, \qquad (1.1)$$

unde v_i reprezintă viteza vântului pentru perioada t_i.

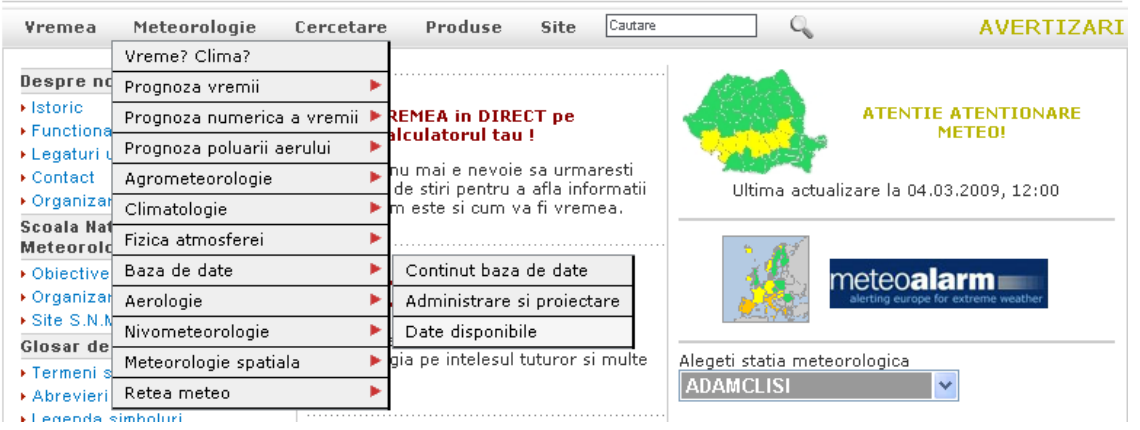


Fig.1.2. Accesarea bazei de date ANM

Fig.1.3. Selectarea graficului dorit

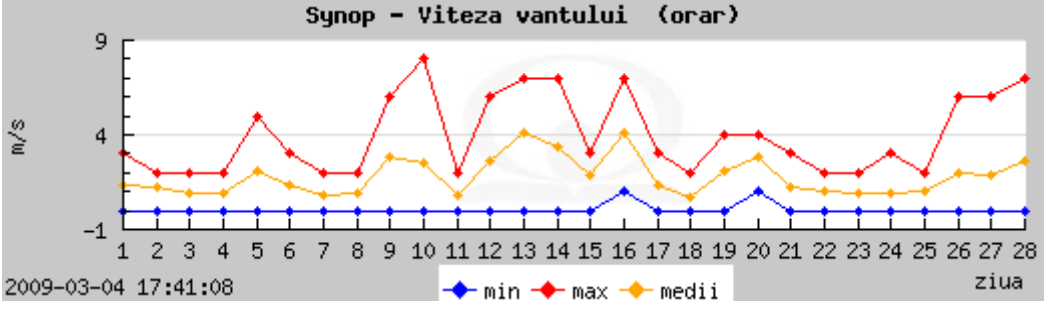


Fig.1.4. Viteza vântului la Miercurea Ciuc

Necesarul de energie zilnică se calculează prin

$$W_C = \sum_{i=1}^{n} P_{ci}\, t_i\ , \qquad (1.2)$$

în care: t_i reprezintă perioada de funcţionare a consumatorului *i*, într-o zi, exprimată în ore; pentru o casă, necesarul de energie este între 250 kWh/lună şi 300 kWh/lună.
Puterea P_{ci} a consumatorului *i,* pentru unii consumatori casnici este prezentată în tabelul 2.

Tabelul 2. Putere consumatori

Consumator	**Putere, W**	**Consumator**	**Putere, W**	**Consumator**	**Putere, W**
Bec economic	13	Mixer	300	Cafetieră	1000
Fier de călcat	1000	Cuptor micro	1500	Frigider	200
Aspirator	500	Maşină spălat	250	Aer condit.	1000
TV	150	CD player	35	Desktop PC	300
Imprimantă	35	Laptop	100	Drujbă	1100

Necesarul de putere electrică se determină cu relaţia

$$P_C = \frac{W_C}{24}. \tag{1.3}$$

Randamentul invertorului (necesar pentru a transforma curentul continuu în curent alternativ) este η_i = 80% ... 90%. În acest sens, necesarul de energie la generatorul eolian se calculează cu expresia

$$W_G = \frac{W_C}{\eta_i}. \tag{1.4}$$

Energia necesară a fi stocată în baterii se determină cu relaţia

$$W_b = U\sum_{i=1}^{n} I_i t_i \ , \tag{1.5}$$

unde: *U* reprezintă tensiunea; I_i – intensitatea curentului electric în perioada t_i. Se recomandă utilizarea bateriilor de 12 V pentru un necesar de energie mai mic de 150 kWh/lună, 24 V sau 48 V pentru un necesar de energie între 150 kWh/lună şi 700 kWh/lună şi baterii de 48 V pentru un necesar de energie mai mare de 700 kWh/lună. Valori ridicate ale tensiunii se aleg în cazul conecticii cu cabluri lungi, pentru a reduce pierderile.

Cantitatea de curent furnizată de generator se determină cu relaţia

$$C_G = \frac{W_G}{U}(1+\lambda_S), \tag{1.6}$$

unde $\lambda_S = 20\% \dots 25\%$ reprezintă pierderile în sistem (baterii, controler, cabluri).

Pentru dimensionarea bateriilor se ţine seama de numărul de zile *z* în care viteza vântului este sub valoarea la care turbina eoliană dezvoltă puterea nominală; pentru siguranţă în exploatare se recomandă ca bateriile să funcţioneze la o capacitate de 80%. Cantitatea de curent necesară a fi stocată în baterii se determină cu relaţia

$$C_B = \frac{C_G\, z}{0{,}8}, \tag{1.7}$$

Numărul minim de baterii, montate în serie, se calculează prin

$$n_b = \frac{C_B}{C_b}, \tag{1.8}$$

unde C_b este cantitatea de curent care poate fi stocată într-o baterie.

Cantitatea de curent care poate fi stocată într-o baterie se determină cu relaţia

$$C_b = \frac{E_z N}{DU}, \tag{1.9}$$

în care: E_z reprezintă energia zilnică produsă, în Wh; N – numărul de zile în care generatorul eolian nu produce energie; D – gradul de descărcare al bateriilor (0,5 pentru bateriile utilizate la automobile; 0,8 pentru bateriile din sistemele fotovoltaice; 1 pentru bateriile Nichel Cadmiu).

Puterea turbinei eoliene P_t se alege mai mare decât puterea necesară P_C. Ţinând seama de tensiunea U_t la care lucrează generatorul eolian şi de numărul de ore t_t în care viteza vântului asigură generarea puterii nominale, se determină cantitatea de curent care poate fi furnizată de o turbină

$$C_t = \frac{P_t}{U_t} t_t. \tag{1.10}$$

Numărul de turbine eoliene conectate în paralel, necesare pentru a furniza energia dorită, se calculează prin

$$n_t = \frac{C_B}{C_t}. \tag{1.11}$$

Puterea invertorului se determină prin

$$P_i = 1{,}35 P_C . \qquad (1.12)$$

1.3. Aplicaţie

Alegerea şi dimensionarea sistemului eolian se face prin parcurgerea următoarelor etape:

- de pe site-ul ANM se generează bazele de date ale vitezei vântului pentru diferite locaţii ale staţiilor meteo corespunzătoare zonelor de instalare a sistemelor eoliene;

Tabelul 1.2. Rezultate calcule

<table>
<tr><td colspan="2">Locaţie:</td><td colspan="2">Viteză medie vânt: v_m= m/s</td></tr>
<tr><td rowspan="10">Consumatori / P, W</td><td>1.</td><td colspan="2" rowspan="10">Necesar de putere: P_C = W

Necesar de energie: W_C = Wh/zi</td></tr>
<tr><td>2.</td></tr>
<tr><td>3.</td></tr>
<tr><td>4.</td></tr>
<tr><td>5.</td></tr>
<tr><td>6.</td></tr>
<tr><td>7.</td></tr>
<tr><td>8.</td></tr>
<tr><td>9.</td></tr>
<tr><td>10.</td></tr>
<tr><td>Cantitate de curent stocat în baterii
C_B = Ah</td><td>Nr. baterii
C_b =
n_b =</td><td>Nr. sisteme eoliene
n_t =</td><td>Putere invertor
P_i = W</td></tr>
<tr><td>Turbină eoliană</td><td>Tip:</td><td>Putere: W
Viteză vânt: m/s</td><td>Preţ:</td></tr>
<tr><td>Baterii</td><td>Tip:</td><td>Tensiune: U
Curent: Ah</td><td>Preţ:</td></tr>
<tr><td>Invertor</td><td>Tip:</td><td>Putere: W</td><td>Preţ:</td></tr>
<tr><td colspan="3"></td><td>Total Preţ:</td></tr>
</table>

- cu relaţia (1.1) se calculează valoarea vitezei medii;
- cu relaţia (1.2) se calculează necesarul de energie zilnică;
- prin alegerea consumatorilor, necesarul de putere electrică se calculează cu relaţia (1.3);
- prin relaţiile (1.4) ... (1.7) se calculează cantitatea de curent necesară a fi stocată în baterii;
- cu relaţia (1.8) se determină numărul de baterii;
- se alege turbina eoliană (pagini web);

- prin relaţia (1.9) se determină cantitatea de curent care poate fi stocată în baterii;
- prin relaţiile (1.10) şi (1.11) se determină numărul de sisteme eoliene;
- puterea invertorului se determină cu relaţia (1.12);
- se identifică preţurile componentelor principale.

1.4. Rezultate

Rezultatele calculelor se scriu în tabelul 1.2.

1.5. Concluzii

Se identifică concluziile referitoare la:

- influenţa locaţiei asupra tipului de turbine eoliene alese;
- influenţa consumatorilor asupra tipului de turbine eoliene alese;
- costurile necesare achiziţionării unui sistem eolian.

Bibliografie

1. www.gunt.de
2. www.iks-photovoltaik.de
3. www.meteoromania.ro
4. www.lpelectric.ro

Aplicaţia 2

MĂSURAREA VITEZEI VÂNTULUI CU ANEMOMETRUL CU CUPE ŞI CU ANEMOMETRUL TERMIC

2.1. Obiectivul aplicaţiei

Efectele mişcării aerului se materializează prin presiunea exercitată asupra obiectelor situate în direcţia de propagare a vântului rezultatele fiind, după caz, benefice sau distructive. Scara *Beaufort* (tabelul 2.1) indică, în acest sens, descrierea fenomenelor meteo produse de vânt, în funcţie de valoarea vitezei acestuia.

Tabelul 2.1. Scara *Beaufort*

Nivel scară *Beaufort*	Fenomen meteo	Viteză vânt, km/h	Viteză vânt, m/s
0	Calm	0 … 1	0 … 0,2
1	Mişcare uşoară a aerului	1 … 5	0,3 … 1,5
2	Briză uşoară	6 … 11	1,6 … 3,3
3	Briză blândă	12 … 19	3,4 … 5,4
4	Briză moderată	20 … 28	5,5 … 7,9
5	Briză rece	29 … 38	8 … 10,7
6	Briză puternică	39 … 49	10,8 … 13,8
7	Aproape furtună	50 … 61	13,9 … 17,1
8	Furtună	62 … 74	17,2 … 20,7
9	Furtună puternică	75 … 88	20,8 … 24,4
10	Vijelie	89 … 102	24,5 … 28,4
11	Vijelie violentă	103 … 117	28,5 … 32,6
12	Uragan	118 … 133	32,7 … 36,9
13	Uragan	134 … 149	37 … 41,4
14	Uragan	150 … 166	41,5 … 46,1
15	Uragan	167 … 183	46,2 … 50,9
16	Uragan	184 … 201	51 … 56
17	Uragan	> 200	> 56

Măsurarea vitezei vântului se realizează cu anemomentrul; în funcţie de tipul senzorului care realizează măsurarea vitezei vântului, anemometrul este cu cupe (fig.2.1 – senzorul este un tahogenerator care măsoară tensiunea electrică în funcţie de viteza de rotaţie a arborelui principal pe care sunt montate cupe) sau anemometrul termic (fig.2.2 – senzorul este de tip

marcă tensometrică care măsoară tensiunea electrică în funcţie de deformaţia la încovoiere a elementului senzorial, sub acţiunea vântului).

Fig.2.1. Anemometrul cu cupe

Puterea generată de o turbină eoliană depinde de viteza vântului, conform relaţiei

$$P = 0.5\rho v^3 A C_p , \qquad (2.1)$$

în care: ρ reprezintă densitatea aerului (ρ=1.2255 kg/m^3 la nivelul mării); v – viteza vântului; A – aria rotorului turbinei; C_p – coeficientul de putere

$$C_p = \eta_m \eta_e \eta_a , \qquad (2.2)$$

unde: η_m reprezintă randamentul transmisiei mecanice (η_m=0.95 … 0.97); η_e – radamentul componentelor electrice (η_e=0.97 … 0.98); η_a – eficienţa aerodinamică (depinde de caracteristicile zonei în care se realizează măsurătorile şi are valoarea maximă η_a=0.38).

Fig.2.2. Anemometrul termic

Aplicaţia îşi propune să realizeze măsurători ale vitezei vântului cu anemometrul termic şi, respectiv, cu cel cu cupe.

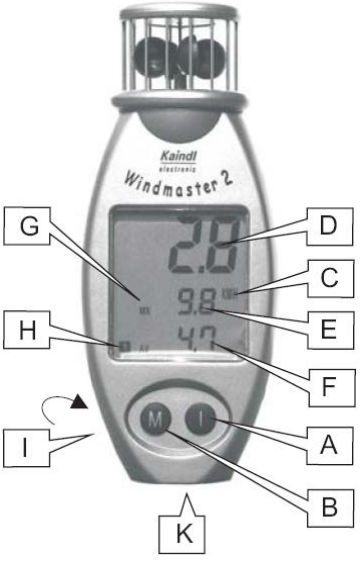


Fig.2.3. Anemometrul cu cupe [3]

2.2. Echipamente

Măsurarea vitezei vântului se realizează cu anemometrul cu cupe (fig.2.3) şi, respectiv, cu anemometrul termic (fig.2.4).

Anemometrul cu cupe conţine [3]: *A* – buton on/off; *B* – buton de selectare a unităţii de măsură; *C* – afişare unitate de măsură (KM/H – km/h, KTS – noduri, M/S – m/s, MP/H – m/h); *D* – afişare viteză a vântului instantanee; *E* – afişare maxim al vitezei vântului de la

comutarea “on”; *F* – afişare viteză medie a vântului de la comutarea “on”; *G* – MX (valoarea maximă), AV (valoare medie); *H* – afişare nivel scară *Beaufort*; *I* – compartiment baterie; *K* – gaură filetată pentru fixare pe stand.

Anemometrul termic are următoarele facilităţi: *1* – sensor de tip marcă tensometrică; *2* – buton on; *3* – buton off; *4* – buton de luminare a ecranului; *5* – buton de calcul a valorii medii măsurate; *6* – setare a unităţii de măsură; *7* – buton de calibrare; *8* – buton de memorare; *9* – buton de ştergere a valorii memorate; *10* – buton de afişare a valorii minime, maxime, medii măsurate de la activarea butonului “on”; *11* – buton de afişare a temperaturii măsurate; *12* – buton de afişare a vitezei vântului măsurate; *13* – buton derulare jos; *14* – buton derulare sus; *15* – afişare valoare temperatură măsurată; *16* – afişare viteză a vântului măsurată.

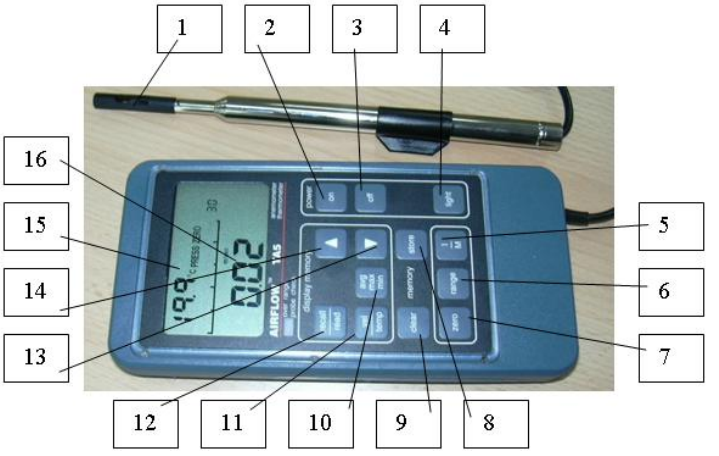


Fig.2.4. Anemometrul termic

2.3. Testări

Măsurarea vitezei vântului se realizează cu anemometrul cu cupe şi, respectiv, cu cel termic în diferite locaţii.

Pentru anemometrul cu cupe:

- se apasă butonul *A*;
- se selectează unitatea de măsură M/S de la butonul *B*;
- se citesc măsurătorile pentru diverse locaţii.

Pentru anemometrul termic:

- se apasă butonul *2* on;
- se apasă butonul *7* pentru calibrarea la zero;
- se setează unitatea de măsură de la butonul 6 în m/s;
- se citesc măsurătorile în aceleaşi locaţii, în timpul măsurării cu anemometrul cu cupe.

2.4. Rezultate

Rezultatele măsurătorilor se scriu în tabelul 2.2.

Se identifică viteza maximă a vântului $\boldsymbol{v}_{max}$, cea minimă $\boldsymbol{v}_{min}$ şi cea medie $\boldsymbol{v}_{med}$ pentru cele două seturi de măsurători. Se determină raportul vitezelor $\boldsymbol{v}_{max}/\boldsymbol{v}_{min}$ şi al puterilor unui sistem eolian P_{max}/P_{min}. Rezultatele se scriu în tabelul 2.3.

2.5. Concluzii

Se identifică concluziile referitoare la:

- diferenţele de măsurare în cazul utilizării celor două tipuri de anemometre;

- influenţa locaţiei de măsurare asupra vitezei vântului;
- - creşterea puterii unui sistem eolian în cazul creşterii vitezei vântului de la $\boldsymbol{v}_{max}$ la $\boldsymbol{v}_{min}$.

Tabelul 2.2. Valori viteză a vântului

Nr. Crt.	Locaţia măsură -torii	Dată/timp	Anemometru cu cupe – viteză a vântului, m/s	Anemometru termic – viteză a vântului, m/s	Nivel scară *Beaufort*	Fenomen meteo

Tabelul 2.3. Creşterea puterii generate

	Anemometru cu cupe	Anemometru termic
$\boldsymbol{v}_{max}$, m/s		
$\boldsymbol{v}_{min}$, m/s		
$\boldsymbol{v}_{med}$, m/s		
$\boldsymbol{v}_{max}/\boldsymbol{v}_{min}$		
P_{max}/P_{min}		

Bibliografie

1. www.gunt.de
2. www.iks-photovoltaik.de
3. Kunsch, H., Schröder, M. Windtrainer junior. Experiments on Wind Energy. Instructions. Version 02/2007. Kassel, Germany.
4. Kunsch, H., Schröder, M. Windtrainer junior. Experiments on Wind Energy. Solutions. Version 02/2007. Kassel, Germany.

Aplicaţia 3

TRASAREA CURBEI DE PUTERE PENTRU O TURBINĂ EOLIANĂ CU AX ORIZONTAL

3.1. Obiectivul aplicaţiei

Caracteristica principală a unei turbine eoliene o reprezintă curba de putere, exprimată grafic prin depenedenţa dintre viteza vântului care acţionează asupra rotorului turbinei şi puterea electrică generată de către turbina eoliană. Prin trasarea curbei de putere se pot identifica parametrii specifici turbinei: viteza de pornire a turbinei (*start-up wind speed* – viteza vântului la care rotorul începe să se rotească); viteza de pornire a generatoruluiu eolian (*cut-in wind speed* – viteza vântului la care turbina începe să genereze curent electric); viteza nominală a turbinei eoliene (*nominal wind speed* – viteza vântului la care turbina generează puterea electrică nominală); viteza de oprire a generatorului eolian (*cut-out wind speed* – viteza vântului de la care rotorul turbinei se opreşte).

Puterea generată de o turbină eoliană depinde de viteza vântului, conform relaţiei

$$P = 0.5\rho v^3 A C_p , \tag{3.1}$$

în care: ρ reprezintă densitatea aerului (ρ=1.2255 kg/m^3 la nivelul mării); v – viteza vântului; A – aria rotorului turbinei; C_p – coeficientul de putere

$$C_p = \eta_m \eta_e \eta_a , \tag{3.2}$$

unde: η_m reprezintă randamentul transmisiei mecanice (η_m=0.95 … 0.97); η_e – radamentul componentelor electrice (η_e=0.97 … 0.98); η_a – eficienţa aerodinamică (depinde de caracteristicile zonei în care se realizează măsurătorile şi are valoarea maximă η_a=0.38).

Puterea electrică generată de către turbină se exprimă prin

$$P = U I , \tag{3.3}$$

unde U reprezintă tensiunea electrică iar I intensitatea curentului electric.

Aplicaţia îşi propune să realizeze trasarea curbei de putere teoretice şi experimentale a unei turbine eoliene cu ax orizontal.

3.2. Echipamente

Generarea vântului se realizează cu ventilatorul din fig.3.1 [2]; *A* reprezintă zona de absorbţie a aerului; *B* – zona de exhaustare a aerului; *C* – mufa de conectare la cablu de curent; *D* – comutator de selectare a vitezei aerului exhaustat. Etalonarea ventilatorului se realizează prin identificarea corespondenţei dintre poziţia comutatorului *D* şi viteza aerului în dreptul rotorului turbinei eoliene. Viteza aerului se măsoară cu ajutorul anemometrului cu cupe (fig.3.2).

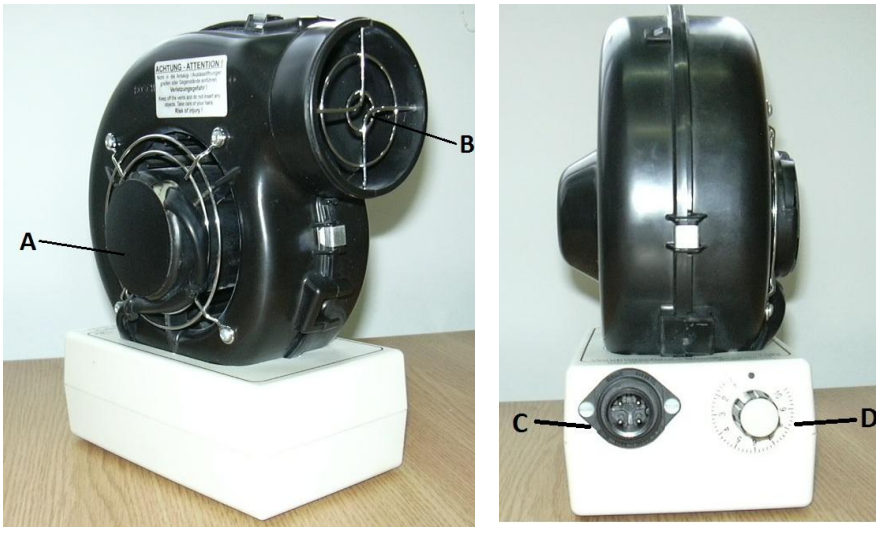


Fig.3.1. Ventilatorul

Anemometrul cu cupe conţine [2]: *A* – buton on/off; *B* – buton de selectare a unităţii de măsură; *C* – afişare unitate de măsură (KM/H – km/h, KTS – noduri, M/S – m/s, MP/H – m/h); *D* – afişare viteză a vântului instantanee; *E* – afişare maxim al vitezei vântului de la comutarea "on"; *F* – afişare viteză medie a vântului de la comutarea "on"; *G* – MX (valoarea maximă), AV (valoare medie); *H* – afişare nivel scară *Beaufort*; *I* – compartiment baterie; *K* – gaură filetată pentru fixarea pe suportul *A*.

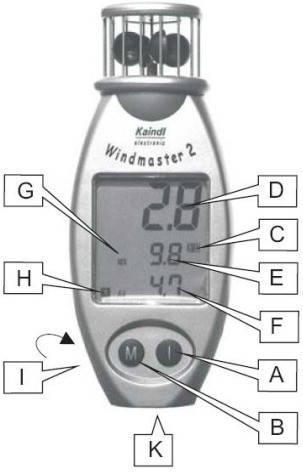


Fig.3.2. Anemometrul cu cupe [2]

Sistemul eolian cu ax orizontal (fig.3.3) conţine [2]: un butuc *A* pe care se pot monta 2, 3 sau 4 pale în locaşul *B*; mufe de conectare *C* la generator şi tahogenerator; ştifturi filetate de fixare a palelor *D*; *E* – *G* găuri de poziţionare a generatorului eolian pe placa de bază.

Ecranul de protecţie (fig.3.4) [2] conţine scala gradată *A* de reglare a unghiului de înclinare a

palelor turbinei şi magneţii *B* pentru fixarea pe placa de bază.

Multimetrul (fig.3.5) conţine [2]: un ecran de vizualizare a mărimilor măsurate *A*; *B* comutator de selectare a mărimilor măsurate – **cablurile de legătură se deconectează înainte de poziţionarea comutatorului** (OFF – multimetru oprit; AVC – măsurare tensiune curent alternativ prin conectare la mufele *D* şi *E*; DCA – măsurare intensitate curent continuu prin conectare la mufele *D* şi *E*; 10A – măsurare intensitate curent continuu prin conectare la mufele *C* şi *E* – max. 10 A, conexiune fără siguranţă fuzibilă; OHM – măsurare rezistenţă electrică prin conectare la mufele *D* şi *E*; DCV – măsurare tensiune curent continuu prin conectare la mufele *D* şi *E*; *C* – mufă + conexiune cablu 10 A curent continuu; *D* – mufă + conexiune cablu V / Ω / mA; *E* – mufă - conexiune cablu.

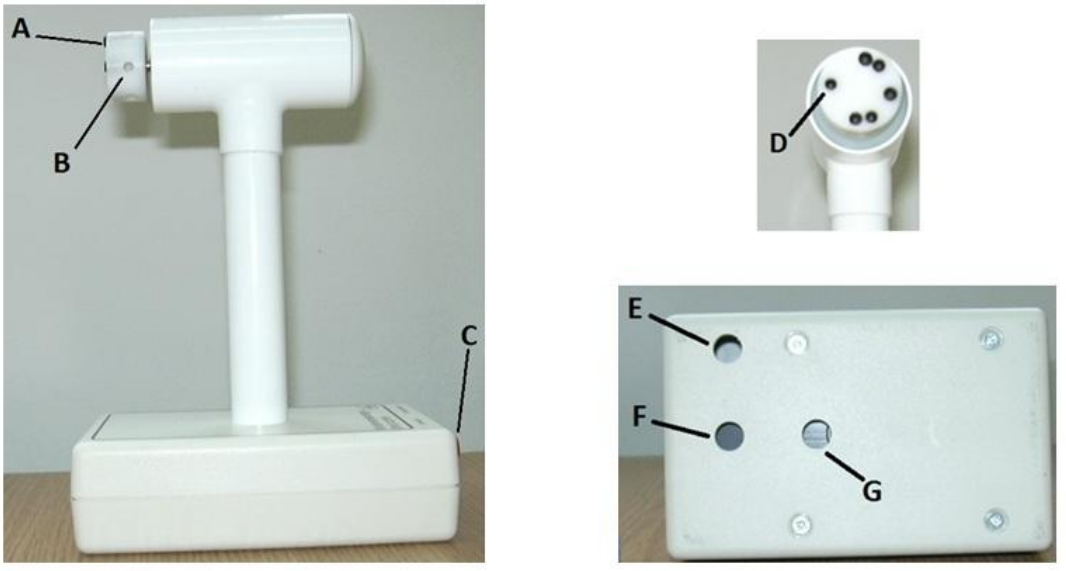


Fig.3.3. Sistemul eolian cu ax orizontal

Fig.3.4. Ecranul de protecţie

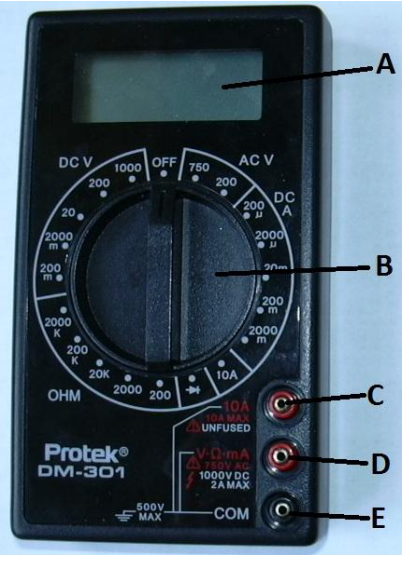


Fig.3.5. Multimetrul

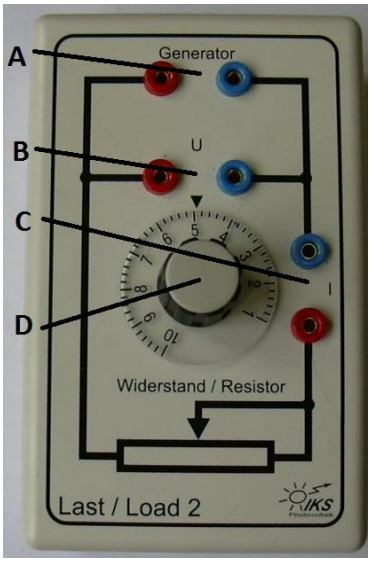


Fig.3.6. Sarcina

Sarcina (fig.3.6) [2] reprezintă o încărcare cu rezistenţa electrică de 100 Ω şi puterea maximă de 2 W şi are în componenţă: *A* – conexiunea generatorului; *B* – conexiunea multimetrului pentru măsurarea tensiunii; *C* – conexiunea multimetrului pentru măsurarea intensităţii curentului; *D* – buton rotativ pentru creşterea rezistenţei.

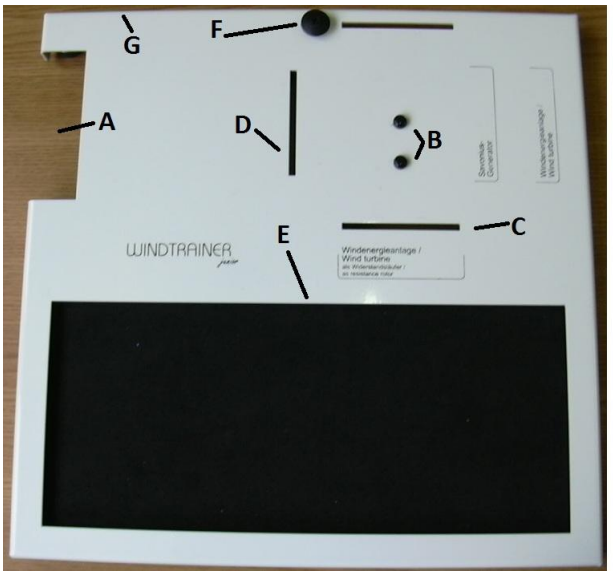


Fig.3.7. Placa de bază

Placa de bază (figura 3.7) conţine [2]: cavitatea *A* pentru montarea ventilatorului; ştifturile *B* pentru fixarea sistemului eolian; canalele *C* pentru montarea ecranului de protecţie; canalul *D* pentru fixarea ecranului obturator; zona *E* pentru montarea modulelor experimentale şi a instrumentelor de măsură; butonul *F* de fixare a firelor elastice de susţinere a manualelor de utilizare; fanta *G* de fixare a plăcii de bază în geamantan.

3.3. Testări

Pentru realizarea testărilor se construieşte standul din figura 3.8 ţinând seama de următoarele aspecte:

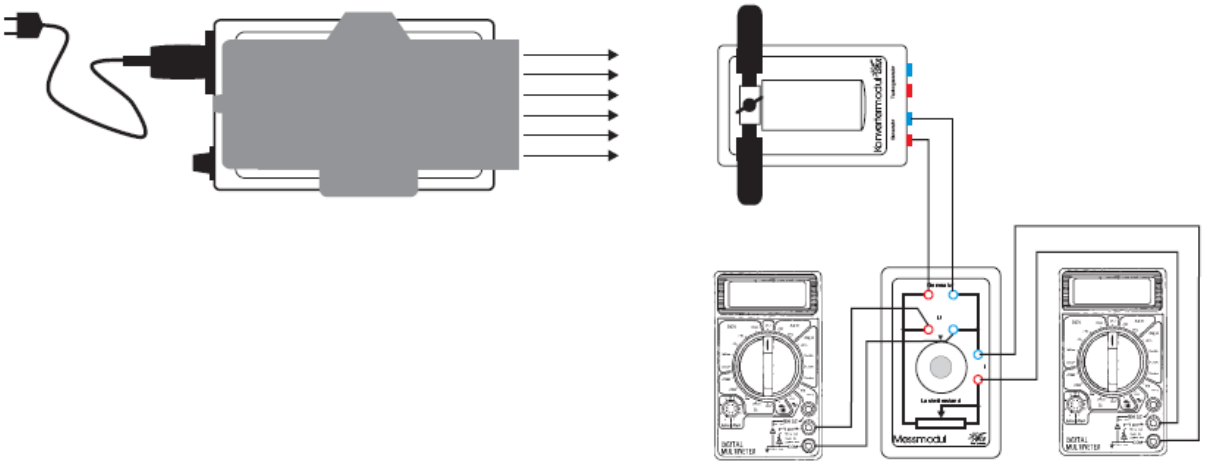


Fig.3.8. Standul de testări [2]

- măsurarea tensiunii curentului generat de sistemul eolian se realizează prin intermediul unui multimetru utilizat ca şi voltmetru prin fixarea comutatorului acestuia pe poziţia DCV 20 V;

- măsurarea intensităţii curentului generat de sistemul eolian se realizează prin intermediul unui multimetru utilizat ca şi ampermetru prin fixarea comutatorului acestuia pe poziţia DCA 200 mA;
- viteza vântului este reglată prin fixarea succesivă a poziţiei comutatorului *D* al ventilatorului de la poziţia 0 la poziţia 10;
- măsurarea vitezei vântului, pentru fiecare poziţie, se realizează prin intermediul anemometrului cu cupe montat pe placa de bază în locul generatorului eolian (fig.3.9); rezultatele se trec în tabelul 3.1;
- prin montarea sistemului eolian şi conectarea sistemelor de măsură se realizează măsurarea tensiunii şi intensităţii curentului pentru fiecare poziţie a comutatorului ventilatorului (fig.3.10). Parametrii necesari testărilor sunt: numărul de pale – 3; forma palelor – dreaptă; unghiul de înclinare a palelor – 45^o; viteza vântului – corespunzătoare poziţiei comutatorului ventilatorului de la 0 la 10; rezistenţa electrică a sarcinii – 50 Ω.

Fig. 3.9. Standul cu anemometru cu cupe

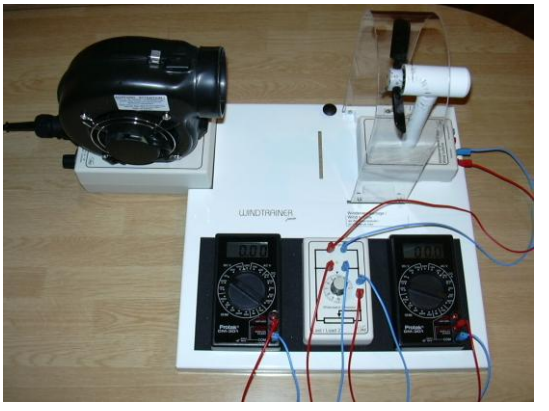


Fig.3.10. Standul cu sistemul eolian

3.4. Rezultate

Rezultatele măsurătorilor se scriu în tabelul 3.1.

Se calculează puterea generată experimentală cu relaţia (3.3) şi cea teoretică cu relaţia (3.1). Se trasează pe acelaşi grafic, curbele de putere, teoretică şi experimentală şi se identifică viteza de pornire a generatorului eolian şi cea de pornire a turbinei.

3.5. Concluzii

Se identifică concluziile referitoare la:

- diferenţele dintre caracteristica de putere teoretică şi cea experimentală;
- viteza de pornire a generatorului eolian şi cea de pornire a turbinei.

Bibliografie

1. www.iks-photovoltaik.de

2. Kunsch, H., Schröder, M. Windtrainer junior. Experiments on Wind Energy. Instructions. Version 02/2007. Kassel, Germany.
3. Kunsch, H., Schröder, M. Windtrainer junior. Experiments on Wind Energy. Solutions. Version 02/2007. Kassel, Germany.

Tabelul 3.1. Rezultatele măsurătorilor

Poziţie comutator ventilator	Viteza vântului, m/s	Tensiune, V	Intensitate curent, mA	Putere generată, mW	Putere teoretică, mW
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

Aplicaţia 4

STUDIUL INFLUENŢEI FORMEI PALELOR TURBINEI EOLIENE CU AX ORIZONTAL ASUPRA CURBEI DE PUTERE

4.1. Obiectivul aplicaţiei

Puterea generată de o turbină eoliană depinde de capacitatea rotorului de a prelua o cantitate cât mai mare de energie din energia vântului; această capacitate depinde, în mod direct, de forma palelor (figura 4.1 prezintă curgerea aerului pe secţiunea transversală a palei). Momentul motor la rotor şi viteza de pornire (*cut-in wind speed*) depind de valaorea presiunii care acţionează asupra palei rotorului; la aceeaşi viteză a vântului, presiunea este influenţată de forma secţiunii transversale a palei, care poate să fie asimetrică (fig.4.2 – a, b, c) sau simetrică (fig.4.2 – d).

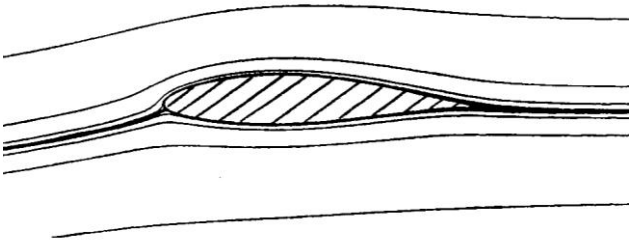


Fig.4.1. Curgerea aerului pe suprafaţa palei

Puterea electrică generată de către turbină se exprimă prin

$$P = U\,I\,, \qquad (4.1)$$

unde U reprezintă tensiunea electrică iar I intensitatea curentului electric.

Aplicaţia îşi propune să realizeze trasarea curbei de putere experimentale a unei turbine eoliene cu ax orizontal, pentru pale drepte şi curbe – concave şi convexe.

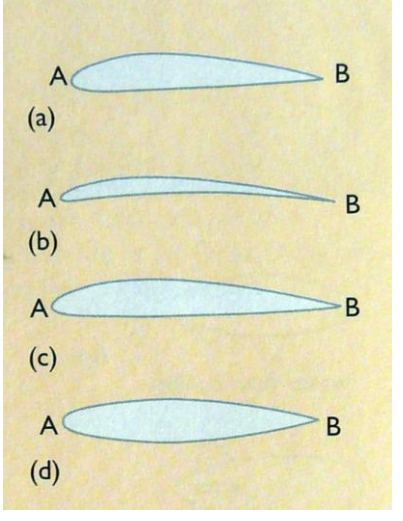


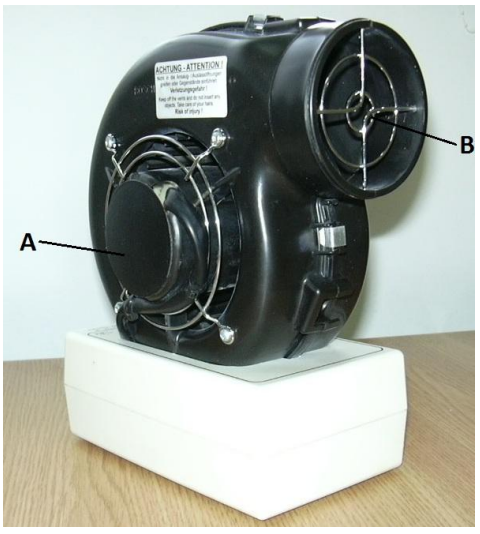
Fig.4.2. Forme ale secţiunii transversale a palei

4.2. Echipamente

Generarea vântului se realizează cu ventilatorul din fig.4.3 [2]; *A* reprezintă zona de absorbţie a aerului; *B* – zona de exhaustare a aerului; *C* – mufa de conectare la cablu de curent; *D* – comutator de selectare a vitezei aerului exhaustat. Etalonarea ventilatorului se realizează prin identificarea corespondenţei dintre poziţia comutatorului *D* şi viteza aerului în dreptul rotorului turbinei eoliene. Viteza aerului se măsoară cu ajutorul anemometrului cu cupe (fig.4.4).

Anemometrul cu cupe conţine [2]: *A* – buton on/off; *B* – buton de selectare a unităţii de măsură; *C* – afişare unitate de măsură (KM/H – km/h, KTS – noduri, M/S – m/s, MP/H –

m/h); *D* – afişare viteză a vântului instantanee; *E* – afişare maxim al vitezei vântului de la comutarea "on"; *F* – afişare viteză medie a vântului de la comutarea "on"; *G* – MX (valoarea maximă), AV (valoare medie); *H* – afişare nivel scară *Beaufort*; *I* – compartiment baterie; *K* – gaură filetată pentru fixarea pe suportul *A*.



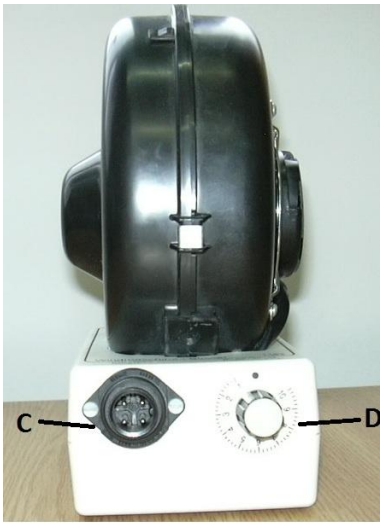


Fig.4.3. Ventilatorul

Sistemul eolian cu ax orizontal (fig.4.5) conţine [2]: un butuc *A* pe care se montează palele (fig.4.6) în locaşul *B*; mufe de conectare *C* la generator şi tahogenerator; ştifturi filetate de fixare a palelor *D*; *E* – *G* găuri de poziţionare a generatorului eolian pe placa de bază.

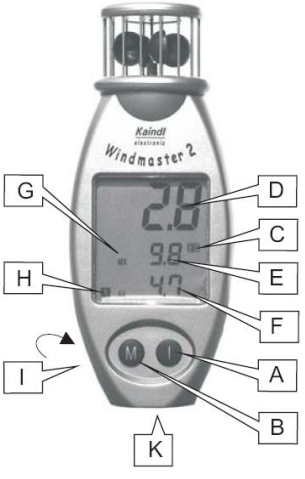


Fig.4.4. Anemometrul cu cupe [2]

Ecranul de protecţie (fig.4.7) [2] conţine scala gradată *A* de reglare a unghiului de înclinare a palelor turbinei şi magneţii *B* pentru fixarea pe placa de bază.

Multimetrul (fig.4.8) conţine [2]: un ecran de vizualizare a mărimilor măsurate *A*; *B* comutator de selectare a mărimilor măsurate – **cablurile de legătură se deconectează înainte de poziţionarea comutatorului** (OFF – multimetru oprit; AVC – măsurare tensiune curent alternativ prin conectare la mufele *D* şi *E*; DCA – măsurare intensitate curent continuu prin conectare la mufele *D* şi *E*; 10A – măsurare intensitate curent continuu prin conectare la mufele *C* şi *E* – max. 10 A, conexiune fără siguranţă fuzibilă; OHM – măsurare rezistenţă electrică prin conectare la mufele *D* şi *E*; DCV – măsurare

tensiune curent continuu prin conectare la mufele *D* şi *E*; *C* – mufă + conexiune cablu 10 A curent continuu; *D* – mufă + conexiune cablu V / Ω / mA; *E* – mufă - conexiune cablu.

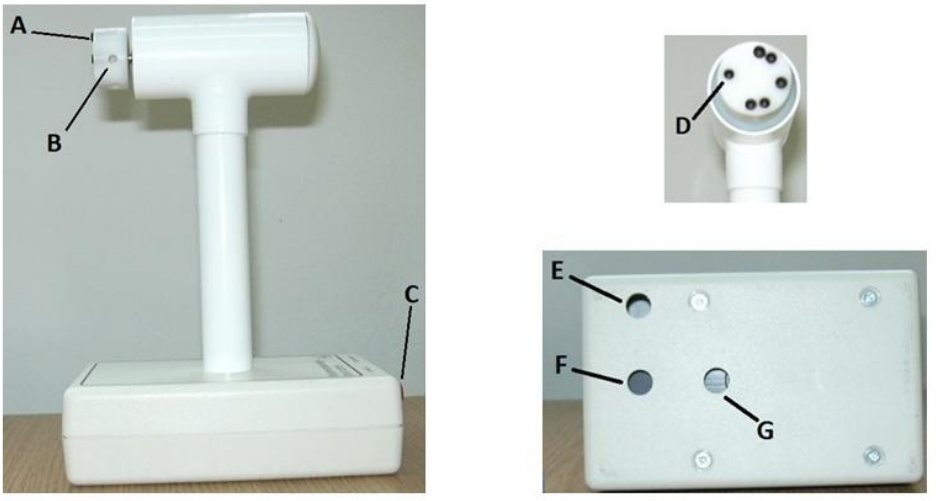


Fig.4.5. Sistemul eolian cu ax orizontal

Fig.4.6. Palele drepte şi curbe [2]

Fig.4.7. Ecranul de protecţie

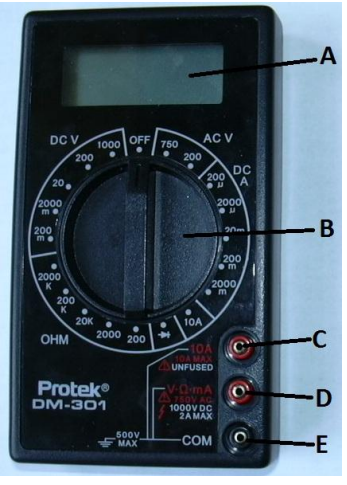


Fig.4.8. Multimetrul

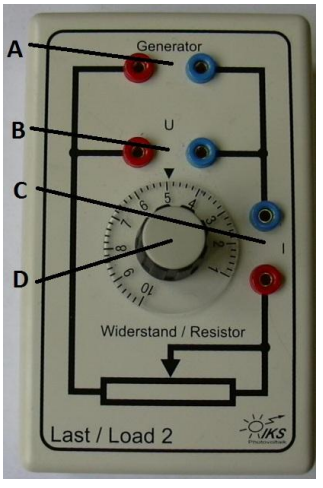


Fig.4.9. Sarcina

Sarcina (fig.4.9) [2] reprezintă o încărcare cu rezistenţa electrică de 100 Ω şi puterea maximă de 2 W şi are în componenţă: *A* – conexiunea generatorului; *B* – conexiunea multimetrului pentru măsurarea tensiunii; *C* – conexiunea multimetrului pentru măsurarea intensităţii curentului; *D* – buton rotativ pentru creşterea rezistenţei.

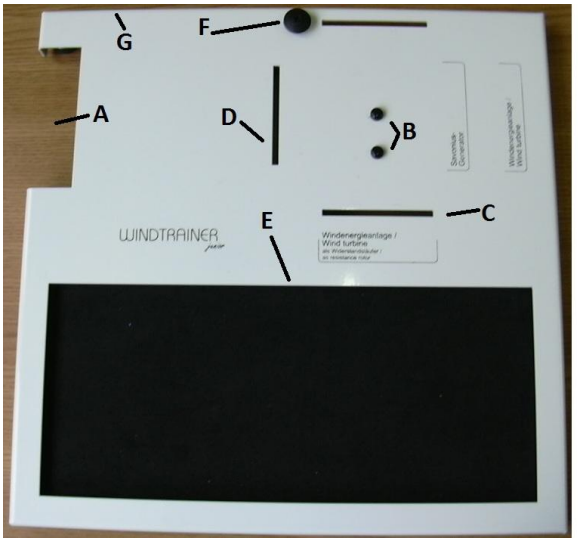


Fig.4.10. Placa de bază

Placa de bază (fig.4.10) conţine [2]: cavitatea *A* pentru montarea ventilatorului; ştifturile *B* pentru fixarea sistemului eolian; canalele *C* pentru montarea ecranului de protecţie; canalul *D* pentru fixarea ecranului obturator; zona *E* pentru montarea modulelor experimentale şi a instrumentelor de măsură; butonul *F* de fixare a firelor elastice de susţinere a manualelor de utilizare; fanta *G* de fixare a plăcii de bază în geamantan.

4.3. Testări

Pentru realizarea testărilor se construieşte standul din figura 4.11 ţinând seama de următoarele aspecte:

- măsurarea tensiunii curentului generat de sistemul eolian se realizează prin intermediul unui multimetru utilizat ca şi voltmetru prin fixarea comutatorului acestuia pe poziţia DCV 20 V;
- măsurarea intensităţii curentului generat de sistemul eolian se realizează prin intermediul unui multimetru utilizat ca şi ampermetru prin fixarea comutatorului acestuia pe poziţia DCA 200 mA;

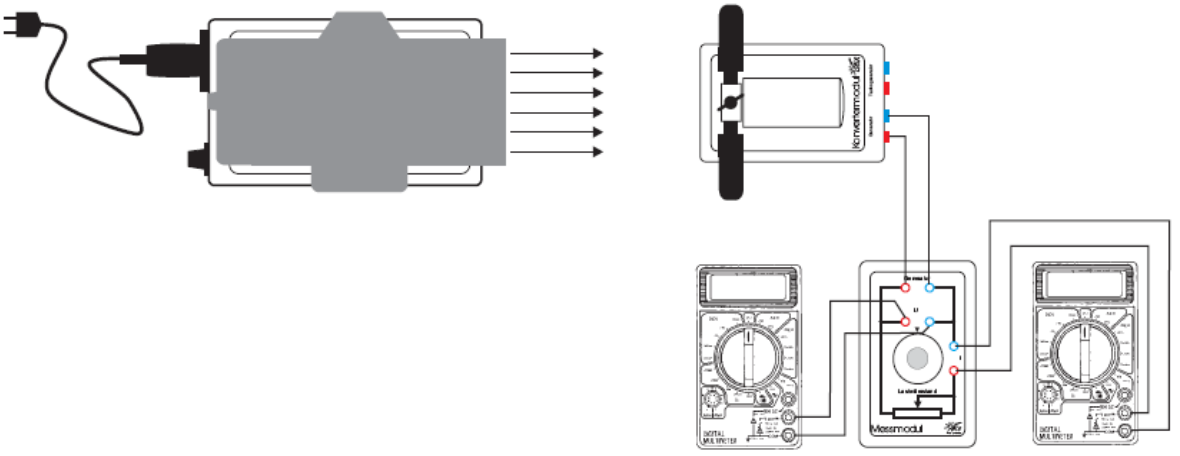


Fig.4.11. Standul de testări [2]

- viteza vântului este reglată prin fixarea succesivă a poziţiei comutatorului *D* al ventilatorului de la poziţia 0 la poziţia 10;

Fig.4.12. Standul cu anemometru cu cupe

Fig.4.13. Standul cu sistemul eolian

- măsurarea vitezei vântului, pentru fiecare poziţie, se realizează prin intermediul anemometrului cu cupe montat pe placa de bază în locul generatorului eolian (fig.4.12); rezultatele se trec în tabelele 4.1, 4.2 şi 4.3;
- prin montarea sistemului eolian şi conectarea sistemelor de măsură se realizează măsurarea tensiunii şi intensităţii curentului pentru fiecare poziţie a comutatorului ventilatorului (fig.4.13). Parametrii necesari testărilor sunt: numărul de pale – 3; forma palelor – dreaptă, curbă convexă şi, respectiv, concavă; unghiul de înclinare a palelor – 45^{o}; viteza vântului – corespunzătoare poziţiei comutatorului ventilatorului de la 0 la 10; rezistenţa electrică a sarcinii – 50 Ω.

4.4. Rezultate

Rezultatele măsurătorilor se scriu în tabelele 4.1, 4.2 şi, respectiv, 4.3.

Se calculează puterea generată experimental cu relaţia (4.1) pentru fiecare din cele trei serii de pale (drepte, convexe şi concave) şi se trasează pe acelaşi grafic, curbele de putere obţinute şi se identifică tipul de pale care asigură valorile cele mai mari ale puterii generate şi, respectiv, viteza de pornire a generatorului eolian cea mai mică.

4.5. Concluzii

Se identifică concluziile referitoare la:

- diferenţele dintre caracteristicile de putere pentru cele trei tipuri de pale studiate: dreaptă, concavă şi convexă;
- viteza de pornire a generatorului eolian pentru cele trei tipuri de pale studiate.

Tabelul 4.1. Rezultatele măsurătorilor

Poziţie comutator ventilator	Viteza vântului, m/s	Pală		
		Tensiune, V	Intensitate curent, mA	Putere generată, mW
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

Tabelul 4.2. Rezultatele măsurătorilor

Poziţie comutator ventilator	Viteza vântului, m/s	Pală		
		Tensiune, V	Intensitate curent, mA	Putere generată, mW
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

Tabelul 4.3. Rezultatele măsurătorilor

Poziţie comutator ventilator	Viteza vântului, m/s	Pală		
		Tensiune, V	Intensitate curent, mA	Putere generată, mW
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

Bibliografie

1. www.iks-photovoltaik.de
2. Kunsch, H., Schröder, M. Windtrainer junior. Experiments on Wind Energy. Instructions. Version 02/2007. Kassel, Germany.
3. Kunsch, H., Schröder, M. Windtrainer junior. Experiments on Wind Energy. Solutions. Version 02/2007. Kassel, Germany.

Aplicaţia 5

STUDIUL INFLUENŢEI NUMĂRULUI PALELOR TURBINEI EOLIENE CU AX ORIZONTAL ASUPRA CURBEI DE PUTERE

5.1. Obiectivul aplicaţiei

Puterea generată de o turbină eoliană depinde de capacitatea rotorului de a prelua o cantitate cât mai mare de energie din energia vântului; această capacitate depinde, în mod direct, şi de numărul palelor rotorului.

Puterea electrică generată de către turbină se exprimă prin

$$P = U\,I, \quad (5.1)$$

unde U reprezintă tensiunea electrică iar I intensitatea curentului electric.

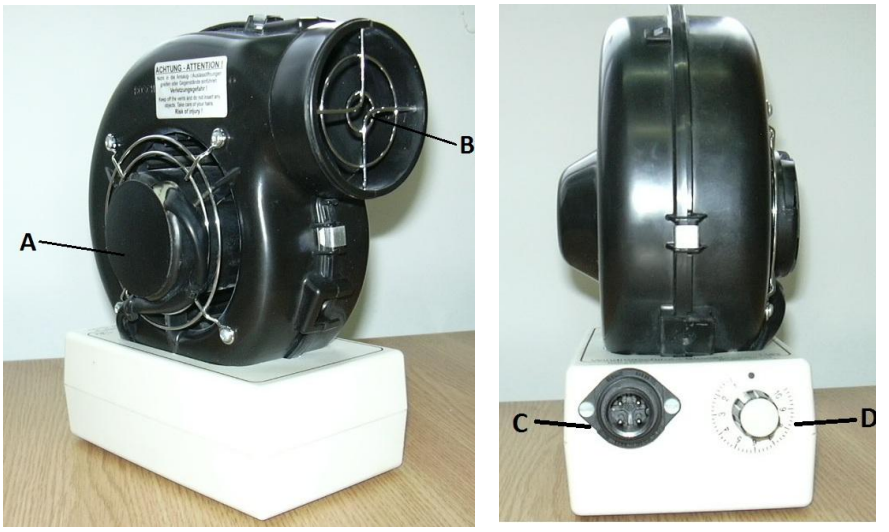


Fig.5.1. Ventilatorul

Aplicaţia îşi propune să realizeze trasarea curbei de putere experimentale a unei turbine eoliene cu ax orizontal, pentru cazul rotorului cu 2, 3 şi, respetiv, 4 pale.

5.2. Echipamente

Generarea vântului se realizează cu ventilatorul din fig.5.1 [2]; *A* reprezintă zona de absorbţie a aerului; *B* – zona de exhaustare a aerului; *C* – mufa de conectare la cablu de curent; *D* – comutator de selectare a vitezei aerului exhaustat. Etalonarea ventilatorului se realizează prin identificarea corespondenţei dintre poziţia comutatorului *D* şi viteza aerului în dreptul rotorului turbinei eoliene. Viteza aerului se măsoară cu ajutorul anemometrului cu cupe (fig.5.2).

Anemometrul cu cupe conţine [2]: *A* – buton on/off; *B* – buton de selectare a unităţii de măsură; *C* – afişare unitate de măsură (KM/H – km/h, KTS – noduri, M/S – m/s, MP/H – m/h); *D* – afişare viteză a vântului instantanee; *E* – afişare maxim al vitezei vântului de la comutarea “on”; *F* – afişare viteză medie a vântului de la comutarea “on”; *G* – MX (valoarea maximă), AV (valoare medie); *H* – afişare nivel scară *Beaufort*; *I* – compartiment baterie; *K* – gaură filetată pentru fixarea pe suportul *A*.

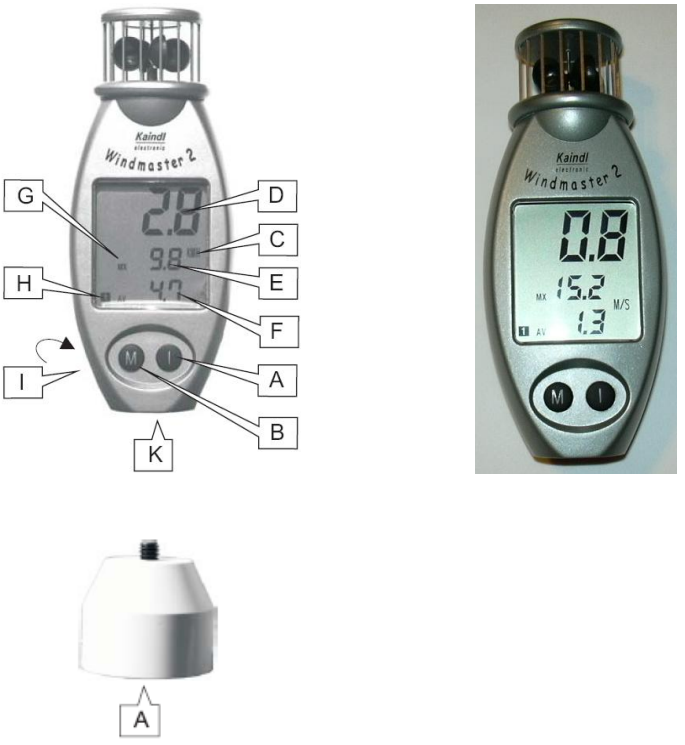


Fig.5.2. Anemometrul cu cupe [2]

Sistemul eolian cu ax orizontal (fig.5.3) conţine [2]: un butuc *A* pe care se montează palele (fig.5.4) în locaşul *B*; mufe de conectare *C* la generator şi tahogenerator; ştifturi filetate de fixare a palelor *D*; *E* – *G* găuri de poziţionare a generatorului eolian pe placa de bază.

Ecranul de protecţie (fig.5.5) [2] conţine scala gradată *A* de reglare a unghiului de înclinare a palelor turbinei şi magneţii *B* pentru fixarea pe placa de bază.

Multimetrul (fig.5.6) conţine [2]: un ecran de vizualizare a mărimilor măsurate *A*; *B* comutator de selectare a mărimilor măsurate – **cablurile de legătură se deconectează înainte de poziţionarea comutatorului** (OFF – multimetru oprit; AVC – măsurare tensiune curent alternativ prin conectare la mufele *D* şi *E*; DCA – măsurare intensitate curent continuu prin conectare la mufele *D* şi *E*; 10A – măsurare intensitate curent continuu prin conectare la mufele *C* şi *E* – max. 10 A, conexiune fără siguranţă fuzibilă; OHM – măsurare rezistenţă electrică prin conectare la mufele *D* şi *E*; DCV – măsurare tensiune curent continuu prin conectare la mufele *D* şi *E*; *C* – mufă + conexiune cablu 10 A curent continuu; *D* – mufă + conexiune cablu V / Ω / mA; *E* – mufă - conexiune cablu.

Fig.5.3. Sistemul eolian cu ax orizontal

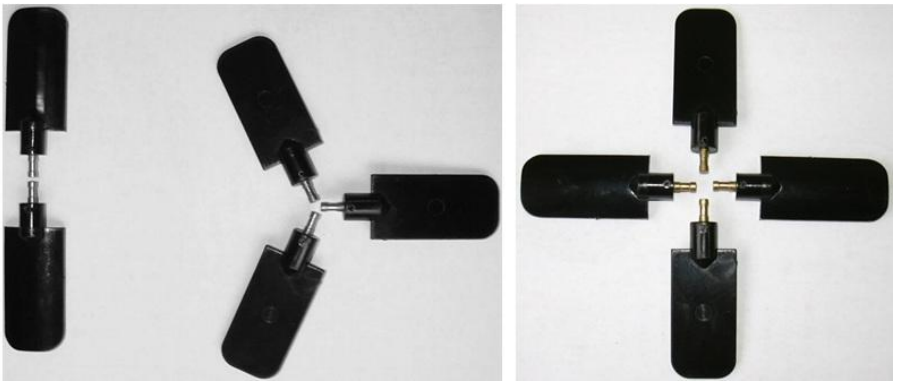
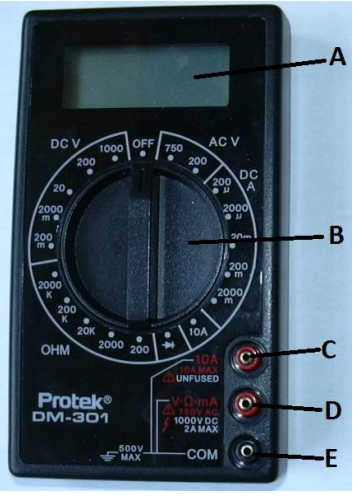


Fig.5.4. Rotorul cu 2, 3 şi 4 pale



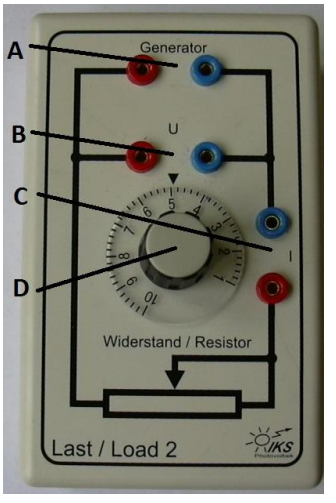


Fig.5.5. Ecranul de protecţie Fig.5.6. Multimetrul Fig.5.7. Sarcina

Sarcina (fig.5.7) [2] reprezintă o încărcare cu rezistenţa electrică de 100 Ω şi puterea maximă de 2 W şi are în componenţă: *A* – conexiunea generatorului; *B* – conexiunea multimetrului pentru măsurarea tensiunii; *C* – conexiunea multimetrului pentru măsurarea intensităţii curentului; *D* – buton rotativ pentru creşterea rezistenţei.

Placa de bază (fig.5.8) conţine [2]: cavitatea *A* pentru montarea ventilatorului; ştifturile *B* pentru fixarea sistemului eolian; canalele *C* pentru montarea ecranului de

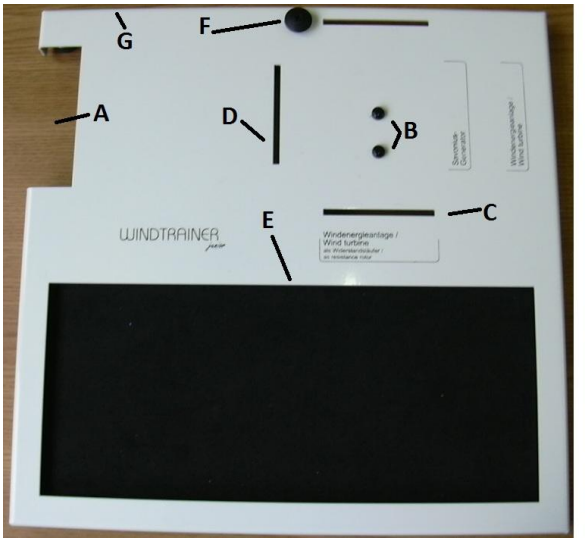


Fig.5.8. Placa de bază

protecţie; canalul *D* pentru fixarea ecranului obturator; zona *E* pentru montarea modulelor experimentale şi a instrumentelor de măsură; butonul *F* de fixare a firelor elastice de susţinere a manualelor de utilizare; fanta *G* de fixare a plăcii de bază în geamantan.

5.3. Testări

Pentru realizarea testărilor se construieşte standul din figura 5.9 ţinând seama de următoarele aspecte:

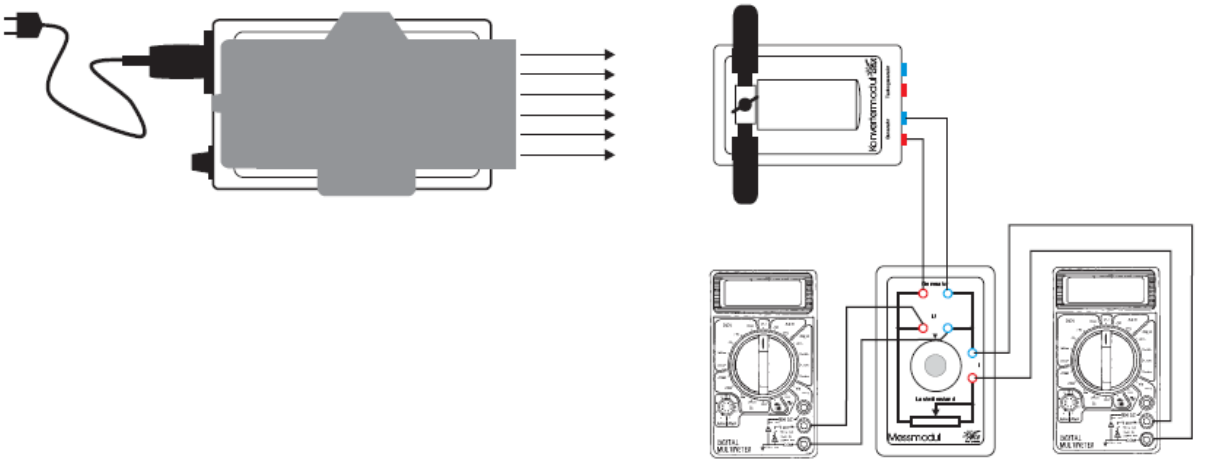


Fig.5.9. Standul de testări [2]

- măsurarea tensiunii curentului generat de sistemul eolian se realizează prin intermediul unui multimetru utilizat ca şi voltmetru prin fixarea comutatorului acestuia pe poziţia DCV 20 V;
- măsurarea intensităţii curentului generat de sistemul eolian se realizează prin intermediul unui multimetru utilizat ca şi ampermetru prin fixarea comutatorului acestuia pe poziţia DCA 200 mA;
- viteza vântului este reglată prin fixarea succesivă a poziţiei comutatorului *D* al ventilatorului de la poziţia 0 la poziţia 10;
- măsurarea vitezei vântului, pentru fiecare poziţie, se realizează prin intermediul anemometrului cu cupe montat pe placa de bază în locul generatorului eolian (fig.5.10); rezultatele se trec în tabelele 5.1, 5.2 şi 5.3;
- prin montarea sistemului eolian şi conectarea sistemelor de măsură se realizează măsurarea tensiunii şi intensităţii curentului pentru fiecare poziţie a comutatorului ventilatorului (fig.5.11). Parametrii necesari testărilor sunt: numărul de pale – 2, 3 şi, respectiv, 4; forma palelor – dreaptă; unghiul de înclinare a palelor – 45^{o}; viteza vântului – corespunzătoare poziţiei comutatorului ventilatorului de la 0 la 10; rezistenţa electrică a sarcinii – 50 Ω.

Fig.5.10. Standul cu anemometru cu cupe

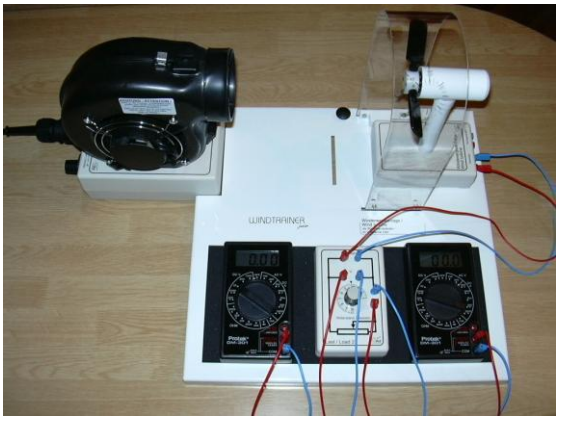


Fig.5.11. Standul cu sistemul eolian

5.4. Rezultate

Rezultatele măsurătorilor se scriu în tabelele 5.1, 5.2 şi, respectiv, 5.3.

Tabelul 5.1. Rezultatele măsurătorilor

Poziţie comutator ventilator	Viteza vântului, m/s	Număr pale: 2		
		Tensiune, V	Intensitate curent, mA	Putere generată, mW
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

Se calculează puterea generată experimental cu relaţia (5.1) pentru fiecare din cele trei serii de măsurători (2, 3 şi 4 pale) şi se trasează pe acelaşi grafic, curbele de putere obţinute şi se identifică varianta de rotor care asigură valorile cele mai mari ale puterii generate şi, respectiv, viteza de pornire a generatorului eolian cea mai mică.

5.5. Concluzii

Se identifică concluziile referitoare la:

- diferenţele dintre caracteristicile de putere pentru cele trei serii de rotor studiate;
- viteza de pornire a generatorului eolian pentru cele trei tipuri rotor.

Tabelul 5.2. Rezultatele măsurătorilor

Poziţie comutator ventilator	Viteza vântului, m/s	Număr pale: 3		
		Tensiune, V	Intensitate curent, mA	Putere generată, mW
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

Tabelul 5.3. Rezultatele măsurătorilor

Poziţie comutator ventilator	Viteza vântului, m/s	Număr pale: 4		
		Tensiune, V	Intensitate curent, mA	Putere generată, mW
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

Bibliografie

1. www.iks-photovoltaik.de
2. Kunsch, H., Schröder, M. Windtrainer junior. Experiments on Wind Energy. Instructions. Version 02/2007. Kassel, Germany.
3. Kunsch, H., Schröder, M. Windtrainer junior. Experiments on Wind Energy. Solutions. Version 02/2007. Kassel, Germany.

Aplicaţia 6

STUDIUL INFLUENŢEI UNGHIULUI DE ÎNCLINARE A PALEI TURBINEI EOLIENE CU AX ORIZONTAL ASUPRA PUTERII GENERATE

6.1. Obiectivul aplicaţiei

Puterea generată de o turbină eoliană depinde de capacitatea rotorului de a prelua o cantitate cât mai mare de energie din energia vântului; această capacitate depinde, în mod direct, şi de unghiul de înclinare al palelor rotorului.

Puterea electrică generată de către turbină se exprimă prin

$$P = U\,I, \quad (6.1)$$

unde U reprezintă tensiunea electrică iar I intensitatea curentului electric.

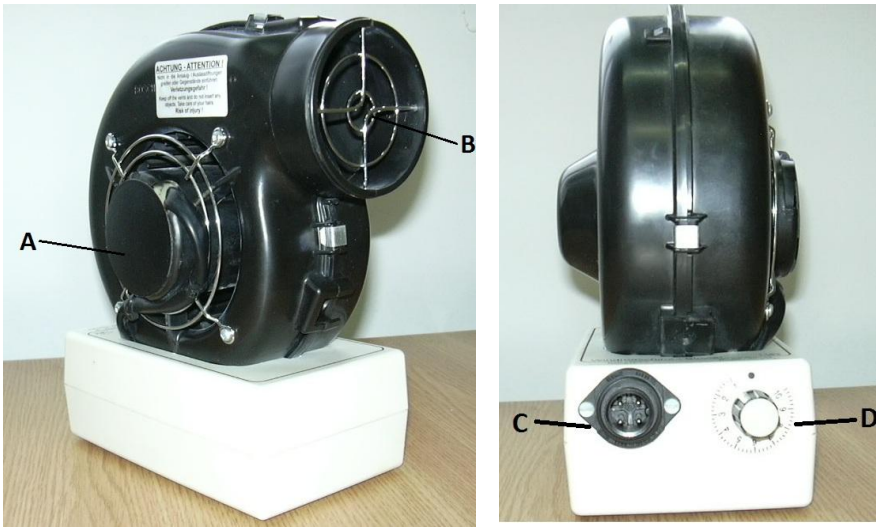


Fig.6.1. Ventilatorul

Aplicaţia îşi propune să realizeze trasarea curbei variaţie a puterii generate de o turbină eoliană cu ax orizontal în funcţie de valorile unghiului de înclinare a palei.

6.2. Echipamente

Generarea vântului se realizează cu ventilatorul din fig.6.1 [2]; *A* reprezintă zona de absorbţie a aerului; *B* – zona de exhaustare a aerului; *C* – mufa de conectare la cablu de curent; *D* – comutator de selectare a vitezei aerului exhaustat. Etalonarea ventilatorului se realizează prin identificarea corespondenţei dintre poziţia comutatorului *D* şi viteza aerului în dreptul rotorului turbinei eoliene. Viteza aerului se măsoară cu ajutorul anemometrului cu cupe (fig.6.2).

Anemometrul cu cupe conţine [2]: *A* – buton on/off; *B* – buton de selectare a unităţii de măsură; *C* – afişare unitate de măsură (KM/H – km/h, KTS – noduri, M/S – m/s, MP/H – m/h); *D* – afişare viteză a vântului instantanee; *E* – afişare maxim al vitezei vântului de la comutarea “on”; *F* – afişare viteză medie a vântului de la comutarea “on”; *G* – MX (valoarea

maximă), AV (valoare medie); *H* – afişare nivel scară *Beaufort*; *I* – compartiment baterie; *K* – gaură filetată pentru fixarea pe suportul *A*.

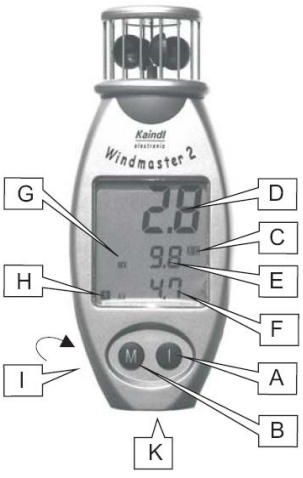


Fig.6.2. Anemometrul cu cupe [2]

Sistemul eolian cu ax orizontal (fig.6.3) conţine [2]: un butuc *A* pe care se montează palele în locaşul *B*; mufe de conectare *C* la generator şi tahogenerator; ştifturi filetate de fixare a palelor *D*; *E* – *G* găuri de poziţionare a generatorului eolian pe placa de bază.

Ecranul de protecţie (fig.6.4) [2] conţine scala gradată *A* de reglare a unghiului de înclinare a palelor turbinei şi magneţii *B* pentru fixarea pe placa de bază.

Multimetrul (fig.6.5) conţine [2]: un ecran de vizualizare a mărimilor măsurate *A*; *B* comutator de selectare a mărimilor măsurate – **cablurile de legătură se deconectează înainte de poziţionarea comutatorului** (OFF – multimetru oprit; AVC – măsurare tensiune curent alternativ prin conectare la mufele *D* şi *E*; DCA – măsurare intensitate curent continuu prin conectare la mufele *D* şi *E*; 10A – măsurare intensitate curent continuu prin conectare la mufele *C* şi *E* – max. 10 A, conexiune fără siguranţă fuzibilă; OHM – măsurare rezistenţă electrică prin conectare la mufele *D* şi *E*; DCV – măsurare tensiune curent continuu prin conectare la mufele *D* şi *E*; *C* – mufă + conexiune cablu 10 A curent continuu; *D* – mufă + conexiune cablu V / Ω / mA; *E* – mufă - conexiune cablu.

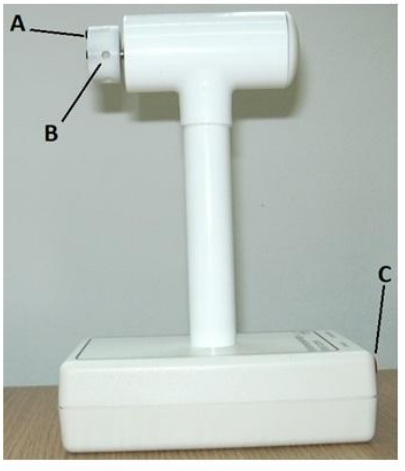


Fig.6.3. Sistemul eolian cu ax orizontal

Sarcina (fig.6.6) [2] reprezintă o încărcare cu rezistenţa electrică de 100 Ω şi puterea maximă de 2 W şi are în componenţă: *A* – conexiunea generatorului; *B* – conexiunea multimetrului pentru măsurarea tensiunii; *C* – conexiunea multimetrului pentru măsurarea intensităţii curentului; *D* – buton rotativ pentru creşterea rezistenţei.

Placa de bază (fig.6.7) conţine [2]: cavitatea *A* pentru montarea ventilatorului; ştifturile *B* pentru fixarea sistemului eolian; canalele *C* pentru montarea ecranului de protecţie; canalul *D* pentru fixarea ecranului obturator; zona *E* pentru montarea modulelor experimentale şi a instrumentelor de măsură; butonul *F* de fixare a firelor elastice de susţinere a manualelor de utilizare; fanta *G* de fixare a plăcii de bază în geamantan.

Fig.6.4. Ecranul de protecţie

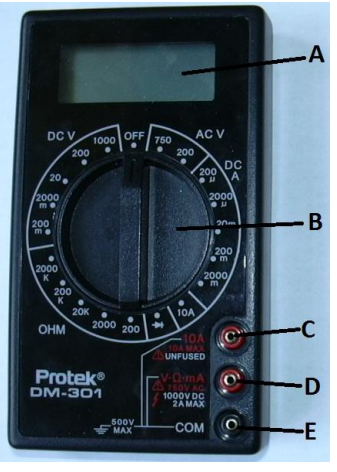


Fig.6.5. Multimetrul

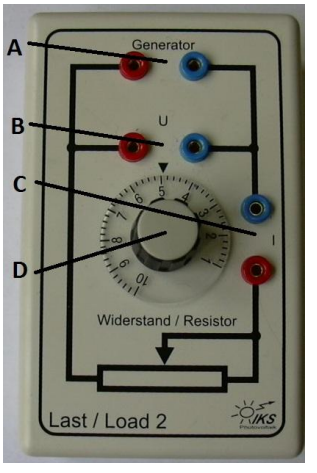


Fig.6.6. Sarcina

6.3. Testări

Pentru realizarea testărilor se construieşte standul din figura 6.8 ţinând seama de următoarele aspecte:

- măsurarea tensiunii curentului generat de sistemul eolian se realizează prin intermediul unui multimetru utilizat ca şi voltmetru prin fixarea comutatorului acestuia pe poziţia DCV 20 V;
- măsurarea intensităţii curentului generat de sistemul eolian se realizează prin intermediul unui multimetru utilizat ca şi ampermetru prin fixarea comutatorului acestuia pe poziţia DCA 200 mA;

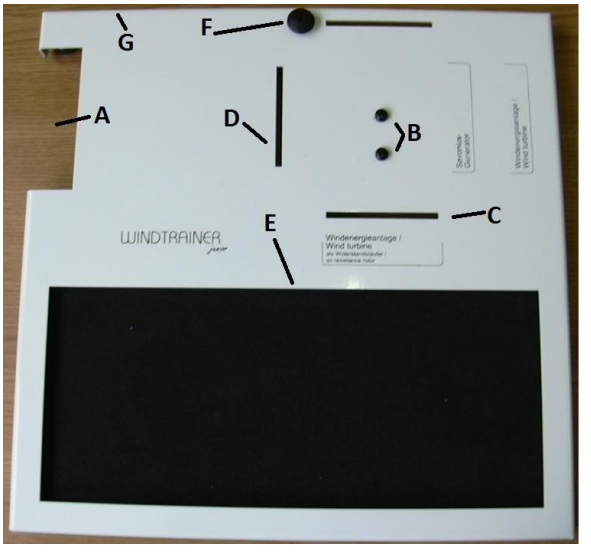


Fig.6.7. Placa de bază

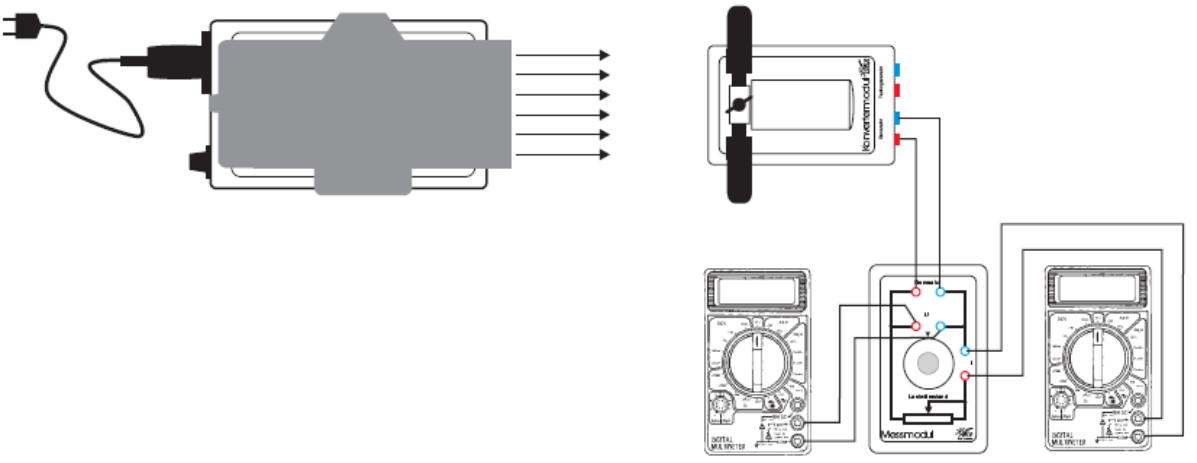


Fig.6.8. Standul de testări [2]

Fig.6.9. Standul cu anemometru cu cupe

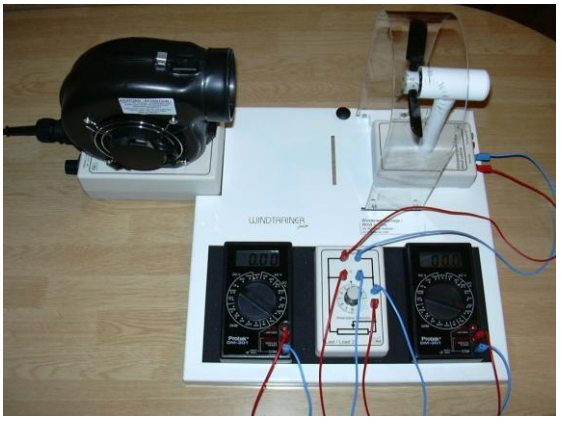


Fig.6.10. Standul cu sistemul eolian

- viteza vântului este reglată prin fixarea succesivă a poziţiei comutatorului *D* al ventilatorului pe poziţiile corespunzătoare valorilor de 7 m/s şi 10 m/s;
- măsurarea vitezei vântului, pentru fiecare poziţie, se realizează prin intermediul anemometrului cu cupe montat pe placa de bază în locul generatorului eolian (fig.6.9);
- prin montarea sistemului eolian şi conectarea sistemelor de măsură se realizează măsurarea tensiunii şi intensităţii curentului pentru următoarele valori ale unghiului de înclinare a palelor (fig.6.10): 0^o, 15^o, 30^o, 45^o, 60^o, 75^o, 90^o. Parametrii necesari testărilor sunt: numărul de pale – 3; forma palelor – dreaptă; viteza vântului – corespunzătoare poziţiei comutatorului ventilatorului pentru valorile de 7 m/s şi 10 m/s; rezistenţa electrică a sarcinii – 50 Ω.

6.4. Rezultate

Rezultatele măsurătorilor se scriu în tabelul 6.1.

Se calculează puterea generată experimental cu relaţia (6.1) pentru fiecare măsurătoare şi se trasează pe acelaşi grafic, curbele de variaţie a puterii în funcţie de unghiul de înclinare a palelor; se identifică varianta de rotor care asigură valorile cele mai mari ale puterii generate.

Tabelul 6.1. Rezultatele măsurătorilor

Unghiul de înclinare a palei, ^{o}	Viteza vântului					
	7 m/s			10 m/s		
	U, V	I, A	P, mW	U, V	I, A	P, mW
0^o						
15^o						
30^o						
45^o						
60^o						
75^o						
90^o						

6.5. Concluzii

Se identifică concluziile referitoare la varianta de rotor care asigură valorile cele mai mari ale puterii generate.

Bibliografie

1. www.iks-photovoltaik.de
2. Kunsch, H., Schröder, M. Windtrainer junior. Experiments on Wind Energy. Instructions. Version 02/2007. Kassel, Germany.
3. Kunsch, H., Schröder, M. Windtrainer junior. Experiments on Wind Energy. Solutions. Version 02/2007. Kassel, Germany.

Aplicaţia 7

TRASAREA CURBEI DE PUTERE PENTRU O TURBINĂ EOLIANĂ DE TIP SAVONIUS

7.1. Obiectivul aplicaţiei

Caracteristica principală a unei turbine eoliene o reprezintă curba de putere, exprimată grafic prin depenedenţa dintre viteza vântului care acţionează asupra rotorului turbinei şi puterea electrică generată de către turbina eoliană. Prin trasarea curbei de putere se pot identifica parametrii specifici turbinei: viteza de pornire a turbinei (*start-up wind speed* – viteza vântului la care rotorul începe să se rotească); viteza de pornire a generatoruluiu eolian (*cut-in wind speed* – viteza vântului la care turbina începe să genereze curent electric); viteza nominală a turbinei eoliene (*nominal wind speed* – viteza vântului la care turbina generează puterea electrică nominală); viteza de oprire a generatorului eolian (*cut-out wind speed* – viteza vântului de la care rotorul turbinei se opreşte).

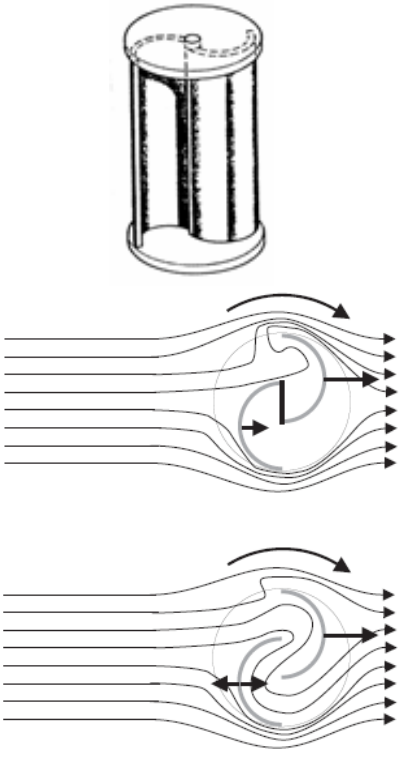


Fig.7.1. Principiul de funcţionare al unei turbine *Savonius*

Turbinele eoliene cu ax vertical au avantajul că rotaţia rotorului nu este influenţată de direcţia de acţiune a vântului. Figura 7.1 prezintă principiul funcţionării unei turbine *Savonius* pentru varianta cu obturator şi, respectiv, fără.

Puterea electrică generată de către turbină se exprimă prin

$$P = U\,I\,, \tag{7.1}$$

unde U reprezintă tensiunea electrică iar I intensitatea curentului electric.

Aplicaţia îşi propune să realizeze trasarea curbei de putere teoretice şi experimentale a unei turbine eoliene cu ax orizontal.

7.2. Echipamente

Generarea vântului se realizează cu ventilatorul din figura 7.2 [2]; *A* reprezintă zona de absorbţie a aerului; *B* – zona de exhaustare a aerului; *C* – mufa de conectare la cablu de

curent; *D* – comutator de selectare a vitezei aerului exhaustat. Etalonarea ventilatorului se realizează prin identificarea corespondenţei dintre poziţia comutatorului *D* şi viteza aerului în dreptul rotorului turbinei eoliene. Viteza aerului se măsoară cu ajutorul anemometrului cu cupe (fig.7.3).

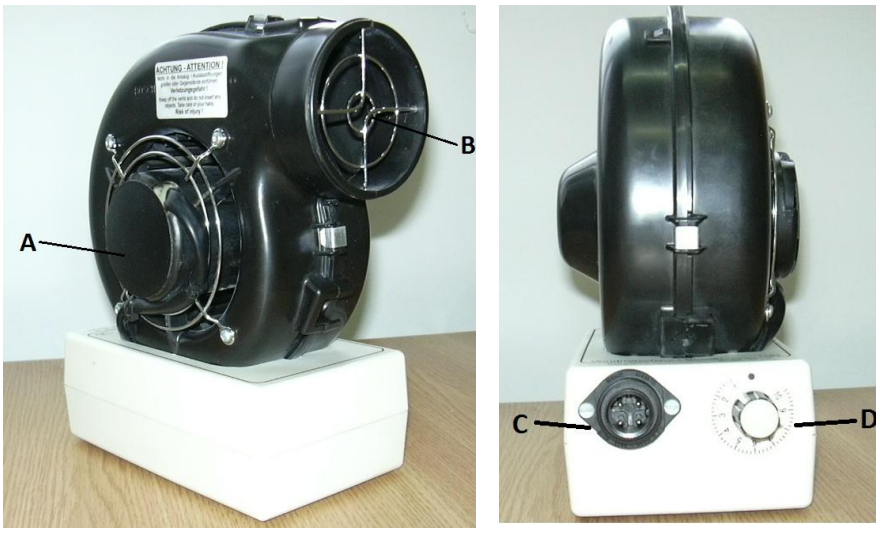


Fig.7.2. Ventilatorul

Anemometrul cu cupe conţine [2]: *A* – buton on/off; *B* – buton de selectare a unităţii de măsură; *C* – afişare unitate de măsură (KM/H – km/h, KTS – noduri, M/S – m/s, MP/H – m/h); *D* – afişare viteză a vântului instantanee; *E* – afişare maxim al vitezei vântului de la comutarea "on"; *F* – afişare viteză medie a vântului de la comutarea "on"; *G* – MX (valoarea maximă), AV (valoare medie); *H* – afişare nivel scară *Beaufort*; *I* – compartiment baterie; *K* – gaură filetată pentru fixarea pe suportul *A*.

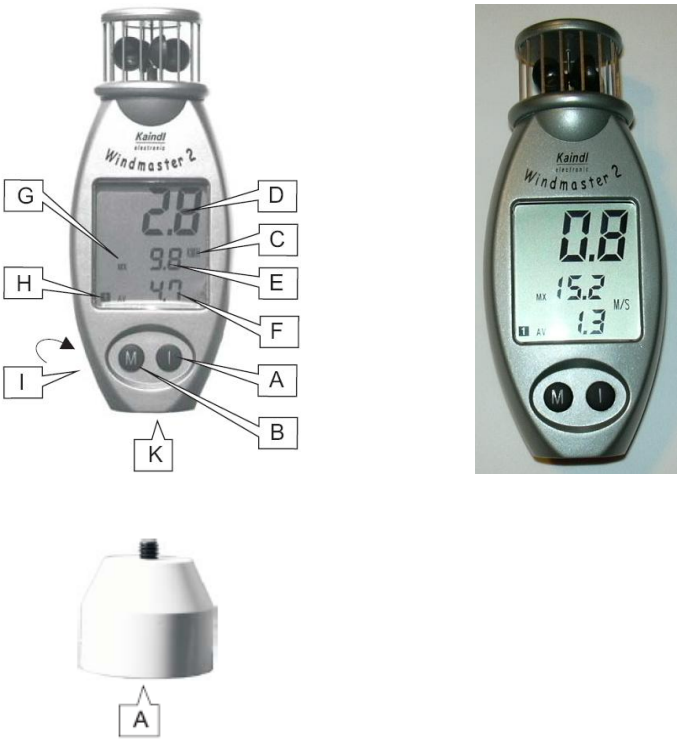


Fig.7.3. Anemometrul cu cupe [2]

Orificiul *C* al rotorului *Savonius* (fig.7.4) se montează în axul *A* al generatorului electric (fig.7.5) şi se fixează prin ştiftul filetat *B* al rotorului. Obturatorul *D* al se introduce în fanta *A* pentru studiul curbei de putere în cele două situaţii: cu obturator şi fără. Generatorul electric se conectează la aparatura de măsură prin mufele *B* şi se poziţionează pe placa de bază prin orificiul *C*.

Multimetrul (fig.7.6) conţine [2]: un ecran de vizualizare a mărimilor măsurate *A*; *B* comutator de selectare a mărimilor măsurate – **cablurile de legătură se deconectează înainte**

de poziţionarea comutatorului (OFF – multimetru oprit; AVC – măsurare tensiune curent alternativ prin conectare la mufele *D* şi *E*; DCA – măsurare intensitate curent continuu prin conectare la mufele *D* şi *E*; 10A – măsurare intensitate curent continuu prin conectare la mufele *C* şi *E* – max. 10 A, conexiune fără siguranţă fuzibilă; OHM – măsurare rezistenţă electrică prin conectare la mufele *D* şi *E*; DCV – măsurare tensiune curent continuu prin conectare la mufele *D* şi *E*; *C* – mufă + conexiune cablu 10 A curent continuu; *D* – mufă + conexiune cablu V / Ω / mA; *E* – mufă - conexiune cablu.

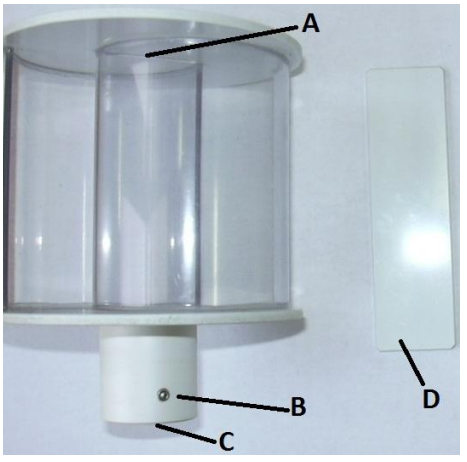


Fig.7.4. Rotorul *Savonius*

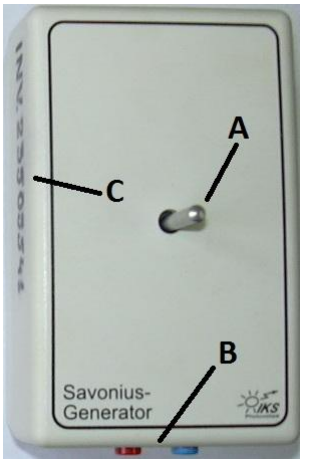


Fig.7.5. Generatorul electric

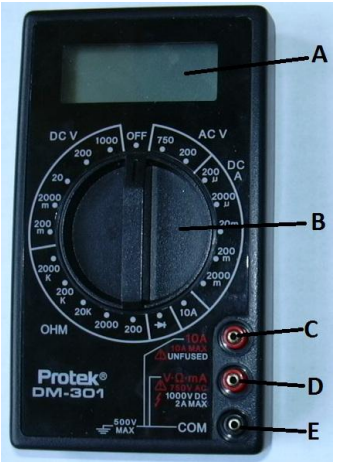


Fig.7.6. Multimetrul

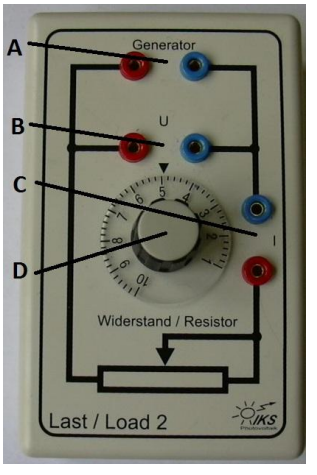


Fig.7.7. Sarcina

Sarcina (fig.7.7) [2] reprezintă o încărcare cu rezistenţa electrică de 100 Ω şi puterea maximă de 2 W şi are în componenţă: *A* – conexiunea generatorului; *B* – conexiunea multimetrului pentru măsurarea tensiunii; *C* – conexiunea multimetrului pentru măsurarea intensităţii curentului; *D* – buton rotativ pentru creşterea rezistenţei.

Placa de bază (fig.7.8) conţine [2]: cavitatea *A* pentru montarea ventilatorului; ştifturile *B* pentru fixarea sistemului eolian; canalele *C* pentru montarea ecranului de protecţie; canalul *D* pentru fixarea ecranului obturator; zona *E* pentru montarea modulelor experimentale şi a instrumentelor de măsură; butonul *F* de fixare a firelor elastice de susţinere a manualelor de utilizare; fanta *G* de fixare a plăcii de bază în geamantan.

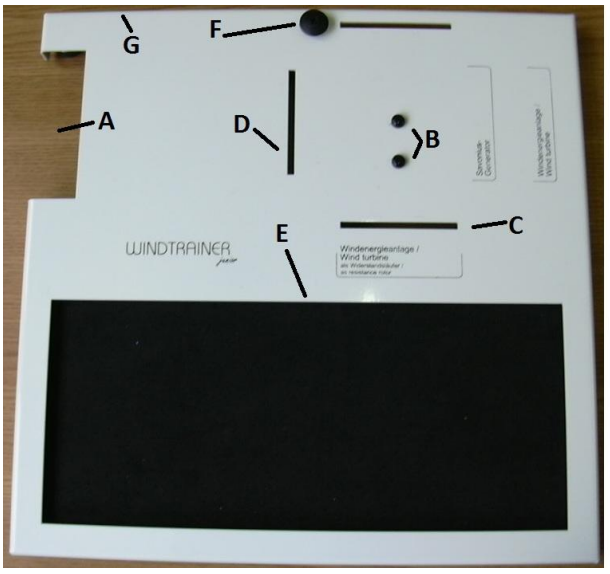


Fig.7.8. Placa de bază

7.3. Testări

Pentru realizarea testărilor se construieşte standul din figura 7.9 ţinând seama de următoarele aspecte:

- măsurarea tensiunii curentului generat de sistemul eolian se realizează prin intermediul unui multimetru utilizat ca şi voltmetru prin fixarea comutatorului acestuia pe poziţia DCV 20 V;
- măsurarea intensităţii curentului generat de sistemul eolian se realizează prin intermediul unui multimetru utilizat ca şi ampermetru prin fixarea comutatorului acestuia pe poziţia DCA 200 mA;

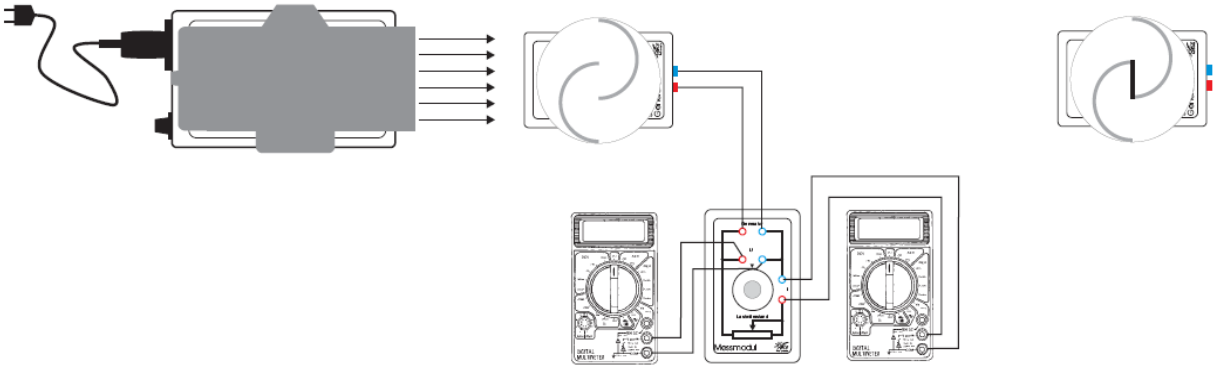


Fig.7.9. Standul de testări [2]

- viteza vântului este reglată prin fixarea succesivă a poziţiei comutatorului *D* al ventilatorului de la poziţia 0 la poziţia 10;
- măsurarea vitezei vântului, pentru fiecare poziţie, se realizează prin intermediul anemometrului cu cupe montat pe placa de bază în locul generatorului eolian (fig.7.10); rezultatele se trec în tabelul 7.1;

- prin montarea sistemului eolian şi conectarea sistemelor de măsură se realizează măsurarea tensiunii şi intensităţii curentului pentru fiecare poziţie a comutatorului ventilatorului (fig.7.11). Parametrii necesari testărilor sunt: viteza vântului – corespunzătoare poziţiei comutatorului ventilatorului de la 0 la 10; rezistenţa electrică a sarcinii – 50 Ω; rotorul *Savonius* montat cu obturator şi fără.

Fig. 7.10. Standul cu anemometru cu cupe

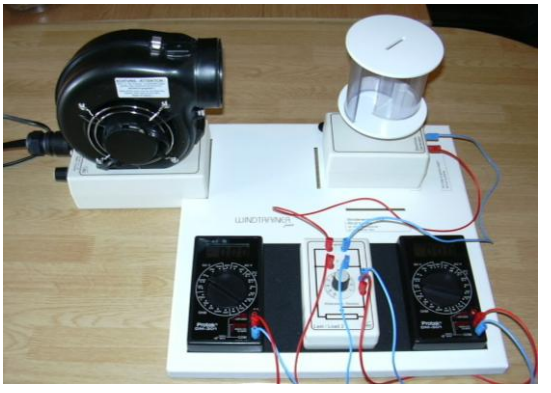


Fig.7.11. Standul cu sistemul eolian *Savonius*

7.4. Rezultate

Rezultatele măsurătorilor se scriu în tabelul 7.1.

Tabelul 7.1. Rezultatele măsurătorilor

Poziţie comutator ventilator	Viteza vântului, m/s	Cu obturator			Fără obturator		
		Tensiune, V	Intensitate, mA	Putere, mW	Tensiune, V	Intensitate, mA	Putere, mW
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

Se calculează puterea generată cu relaţia (3.1); se trasează pe acelaşi grafic, curbele de putere pentru variantele cu obturator şi fără şi se identifică viteza de pornire a generatorului eolian şi cea de pornire a turbinei.

7.5. Concluzii

Se identifică concluziile referitoare la:

- diferenţele dintre caracteristica de putere pentru cele două cazuri studiate;
- viteza de pornire a generatorului eolian şi cea de pornire a turbinei pentru cele două cazuri studiate.

Bibliografie

1. www.iks-photovoltaik.de
2. Kunsch, H., Schröder, M. Windtrainer junior. Experiments on Wind Energy. Instructions. Version 02/2007. Kassel, Germany.
3. Kunsch, H., Schröder, M. Windtrainer junior. Experiments on Wind Energy. Solutions. Version 02/2007. Kassel, Germany.

Aplicaţia 8

STUDIUL SISTEMELOR EOLIENE IZOLATE

8.1. Obiectivul aplicaţiei

Sistemele eoliene izolate sunt destinate consumatorilor cu necesar de energie redus, situaţi la distanţe mari de reţeaua electrică. Practic aceşti consumatori sunt: cabanele izolate, casele de vacanţă, staţiile meteo, staţiile radio etc.

Un sistem eolian izolat este compus din (fig.8.1): turbina eoliană; regulatorul de sarcină (acesta poate fi încorporat, prin constucţie, turbinei); grupul de baterii care înmagazinează energia produsă de turbină; invertorul care are rolul de a transforma curentul continuu în curent alternativ necesar consumatorilor.

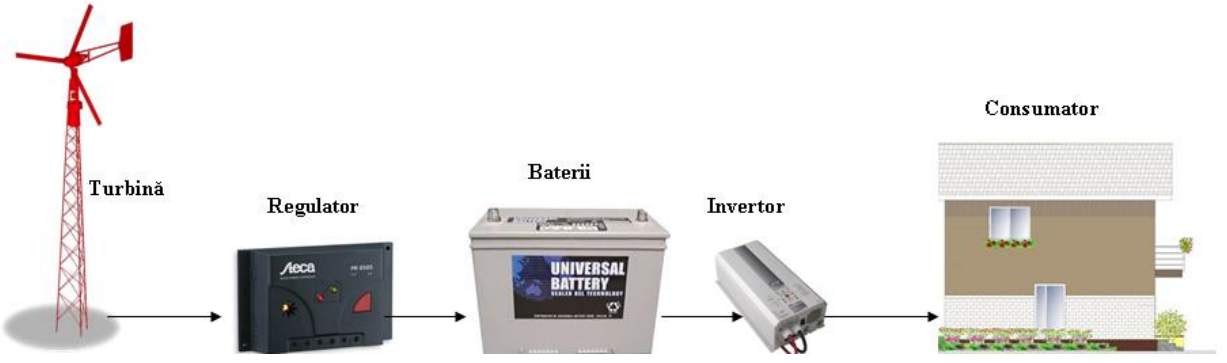


Fig.8.1. Sistem eolian izolat

Componentele puterii (tensiune şi intensitate curent) generate de sistemul eolian depind de potenţialul eolian şi de caracteristicile bateriilor şi consumatorului.

Puterea electrică, în general, se exprimă prin

$$P = U\,I\,, \tag{8.1}$$

unde U reprezintă tensiunea electrică iar I intensitatea curentului electric.

Aplicaţia îşi propune să studieze intensitatea curentului electric pe circuitul de putere al generatorului eolian şi al consumatorului.

8.2. Echipamente

Generarea vântului se realizează cu ventilatorul din fig.8.2 [2]; *A* reprezintă zona de absorbţie a aerului; *B* – zona de exhaustare a aerului; *C* – mufa de conectare la cablu de curent; *D* – comutator de selectare a vitezei aerului exhaustat. Etalonarea ventilatorului se

realizează prin identificarea corespondenţei dintre poziţia comutatorului *D* şi viteza aerului în dreptul rotorului turbinei eoliene. Viteza aerului se măsoară cu ajutorul anemometrului cu cupe (fig.8.3).

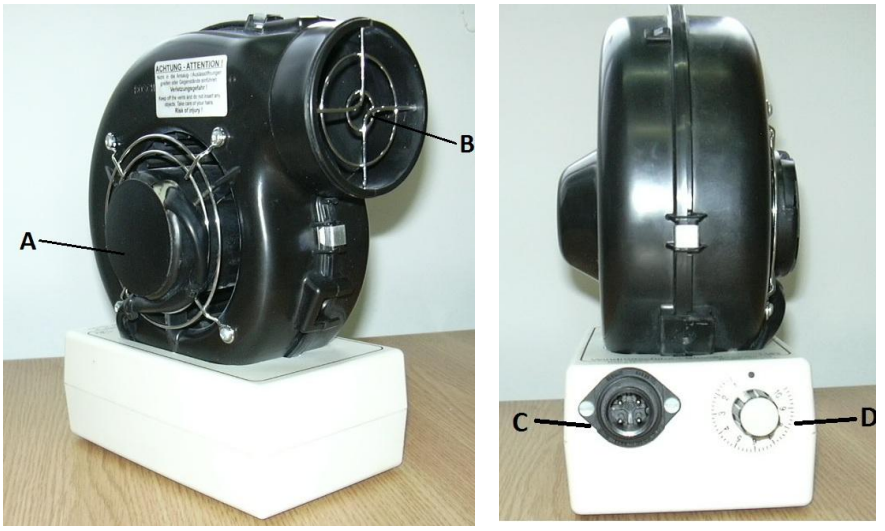


Fig.8.2. Ventilatorul

Anemometrul cu cupe conţine [2]: *A* – buton on/off; *B* – buton de selectare a unităţii de măsură; *C* – afişare unitate de măsură (KM/H – km/h, KTS – noduri, M/S – m/s, MP/H – m/h); *D* – afişare viteză a vântului instantanee; *E* – afişare maxim al vitezei vântului de la comutarea "on"; *F* – afişare viteză medie a vântului de la comutarea "on"; *G* – MX (valoarea maximă), AV (valoare medie); *H* – afişare nivel scară *Beaufort*; *I* – compartiment baterie; *K* – gaură filetată pentru fixarea pe suportul *A*.

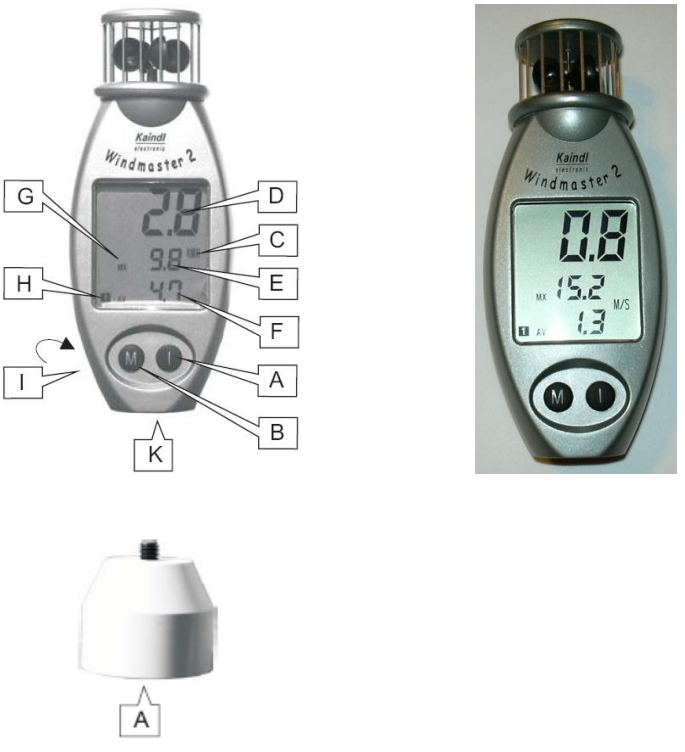


Fig.8.3. Anemometrul cu cupe [2]

Sistemul eolian cu ax orizontal (fig.8.4) conţine [2]: un butuc *A* pe care se pot monta 2, 3 sau 4 pale în locaşul *B*; mufe de conectare *C* la generator şi tahogenerator; ştifturi filetate de fixare a palelor *D*; *E* – *G* găuri de poziţionare a generatorului eolian pe placa de bază.

Ecranul de protecţie (fig.8.5) [2] conţine scala gradată *A* de reglare a unghiului de înclinare a palelor turbinei şi magneţii *B* pentru fixarea pe placa de bază.

Multimetrul (fig.8.6) conţine [2]: un ecran de vizualizare a mărimilor măsurate *A*; *B* comutator de selectare a mărimilor măsurate – **cablurile de legătură se deconectează înainte de poziţionarea comutatorului** (OFF – multimetru oprit; AVC – măsurare tensiune curent

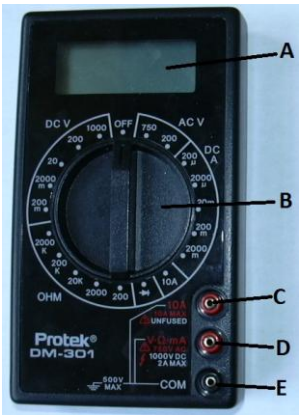
alternativ prin conectare la mufele *D* şi *E*; DCA – măsurare intensitate curent continuu prin conectare la mufele *D* şi *E*; 10A – măsurare intensitate curent continuu prin conectare la mufele *C* şi *E* – max. 10 A, conexiune fără siguranţă fuzibilă; OHM – măsurare rezistenţă electrică prin conectare la mufele *D* şi *E*; DCV – măsurare tensiune curent continuu prin conectare la mufele *D* şi *E*; *C* – mufă + conexiune cablu 10 A curent continuu; *D* – mufă + conexiune cablu V / Ω / mA; *E* – mufă - conexiune cablu.

Fig.8.4. Sistemul eolian cu ax orizontal

Fig.8.5. Ecranul de protecţie

Elementul de stocare (fig.8.7) [2] reprezintă un sistem de acumulare a energiei caracterizat printr-un acumulator de tip nichel-metalhidrid (NiMh) şi un condensator de tip *GoldCap*. Acumulatorul se încarcă la o tensiune de 1,2 V cu un curent de 6,5 mAh / 10 ore maxim.

Capacitatea de încărcare este de 65 mAh. Condensatorul *GoldCap* are capacitatea de 10 F cu o tensiune de încărcare de 2,3 V.



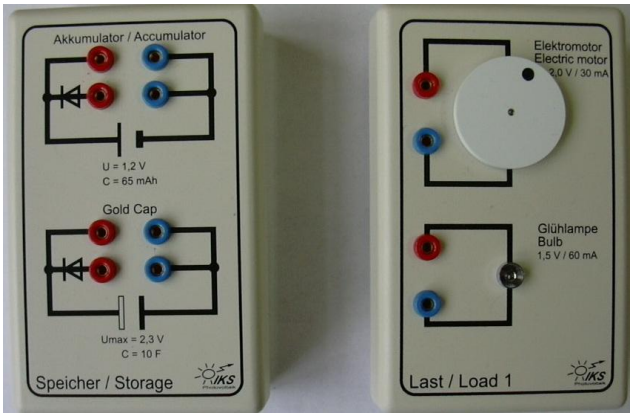


Fig.8.6. Multimetrul Fig.8.7. Elementul de stocare Fig.8.8 Sarcina

Sarcina (fig.8.8) [2] constă într-un motor electric şi un consumator de tip bec. Motorul electric se alimentează la o tensiune de 2 V cu un curent maxim de 30 mA. Becul electric se alimentează la o tensiune de 1,5 V cu un curent maxim de 60 mA.

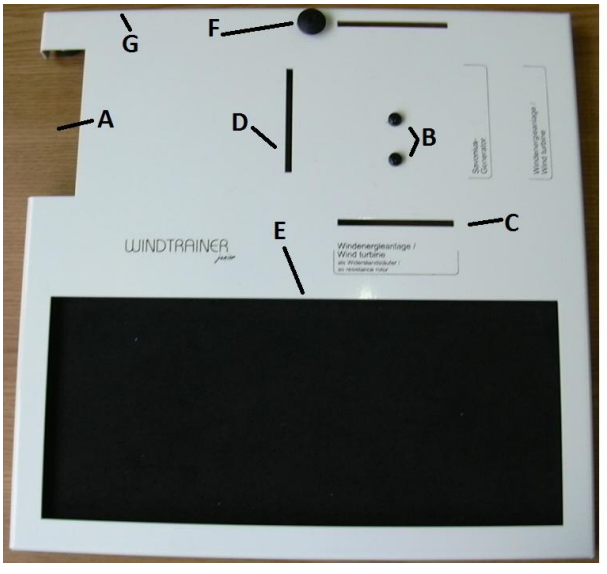


Fig.8.9. Placa de bază

Placa de bază (fig.8.9) conţine [2]: cavitatea *A* pentru montarea ventilatorului; ştifturile *B* pentru fixarea sistemului eolian; canalele *C* pentru montarea ecranului de protecţie; canalul *D* pentru fixarea ecranului obturator; zona *E* pentru montarea modulelor experimentale şi a instrumentelor de măsură; butonul *F* de fixare a firelor elastice de susţinere a manualelor de utilizare; fanta *G* de fixare a plăcii de bază în geamantan.

8.3. Testări

Pentru realizarea testărilor se construieşte standul din figura 8.10 ţinând seama de următoarele aspecte:

- măsurarea intensităţii curentului generat de sistemul eolian şi la consumator, se realizează prin intermediul celor două multimetre utilizate ca şi ampermetru prin fixarea comutatorului acestora pe poziţia DCA 200 mA;
- viteza vântului este reglată prin fixarea succesivă a poziţiei comutatorului *D* al ventilatorului de la poziţia 0 la poziţia 10;

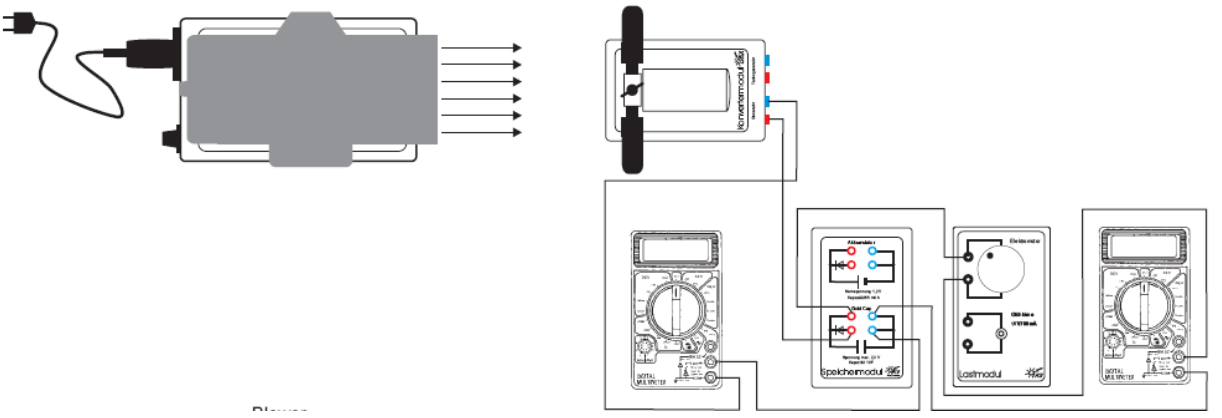


Fig.8.10. Standul de testări [2]

- măsurarea vitezei vântului, pentru fiecare poziţie, se realizează prin intermediul anemometrului cu cupe montat pe placa de bază în locul generatorului eolian (fig.8.11); rezultatele se trec în tabelul 8.1;
- generatorul eolian este montat şi conectat prin mufele inferioare la condensatorul *GoldCap* şi prin pornirea ventilatorului se realizează încărcarea condensatorului până când nu mai trece curent prin multimetru (fig.8.12);

Fig. 8.11. Standul cu anemometru cu cupe

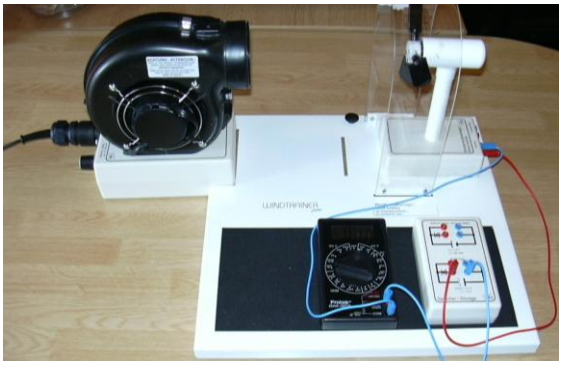


Fig.8.12. Încărcarea condensatorului

- motorul electric ce conectează prin mufele superioare la condensatorul *GoldCap* prin al doilea multimetru; ventilatorul este oprit; se lasă motorul să funcţioneze 3 minute (fig.8.13);
- se conectează consumatorul de tip bec în paralel cu motorul electric şi se observă indicaţia multimetrelor până la descărcarea completă a condensatorului (fig.8.14); se notează perioada de descărcare;
- se porneşte ventilatorul şi pentru fiecare poziţie a comutatotului a acestuia şi se notează indicaţia multimetrelor, I_1 şi, respectiv, I_2; rezultatele se trec în tabelul 8.1;

- parametrii necesari testărilor sunt: numărul de pale – 3; forma palelor – dreaptă; unghiul de înclinare a palelor – 45^o; viteza vântului – corespunzătoare poziţiei comutatorului ventilatorului de la 0 la 10.

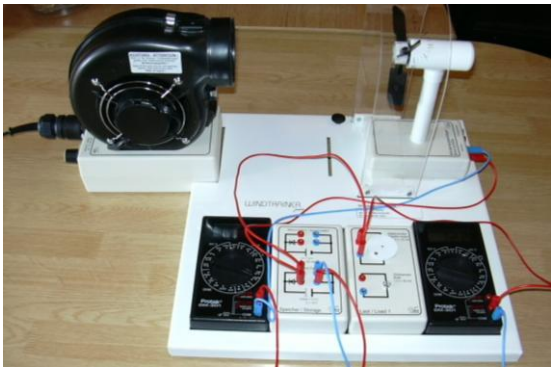


Fig. 8.13. Funcţionarea motorului

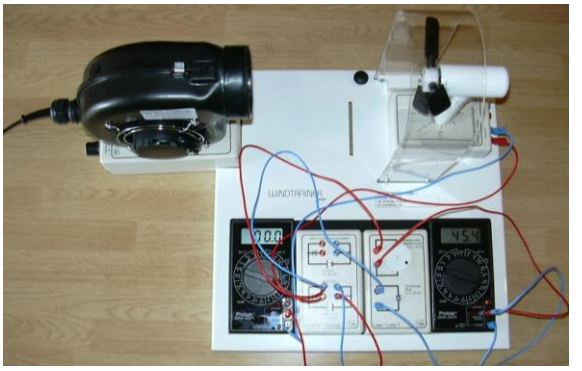


Fig.8.14. Descărcarea condensatorului

8.4. Rezultate

Rezultatele măsurătorilor se scriu în tabelul 8.1.

Tabelul 8.1. Rezultatele măsurătorilor

Poziţie comutator ventilator	Viteza vântului, m/s	Intensitate curent, I_1 mA	Intensitate curent, I_2 mA
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Se trasează pe acelaşi grafic, curbele de variaţie a intensităţii curentului electric pe circuitul de putere al generatorului eolian şi al consumatorului.

8.5. Concluzii

Se identifică concluziile referitoare la:

- perioada de funcţionare a motorului electric, după oprirea ventilatorului;

- variaţia intensităţii curentului electric la conectarea în paralel a consumatorului suplimentar de tip bec;
- graficele de variaţie a intensităţii curentului electric pe circuitul de putere al generatorului eolian şi al consumatorului;
- cazurile de funcţionare optimă a sistemului, în funcţie de caracteristicile acumulatorului şi consumatorilor.

Bibliografie

1. www.iks-photovoltaik.de
2. Kunsch, H., Schröder, M. Windtrainer junior. Experiments on Wind Energy. Instructions. Version 02/2007. Kassel, Germany.
3. Kunsch, H., Schröder, M. Windtrainer junior. Experiments on Wind Energy. Solutions. Version 02/2007. Kassel, Germany.

Aplicaţia 9

STUDIUL ÎNCĂRCĂRII BATERIILOR UTILIZATE ÎN SISTEMELE EOLIENE

9.1. Obiectivul aplicaţiei

Bateriile sunt utilizate în cazul sistemelor eoliene izolate destinate consumatorilor cu necesar de energie redus. Procesul de încărcare a bateriilor depinde de potenţialul eolian şi de consumatorii conectaţi la sistem.

Puterea electrică, în general, se exprimă prin

$$P = U\,I, \quad (9.1)$$

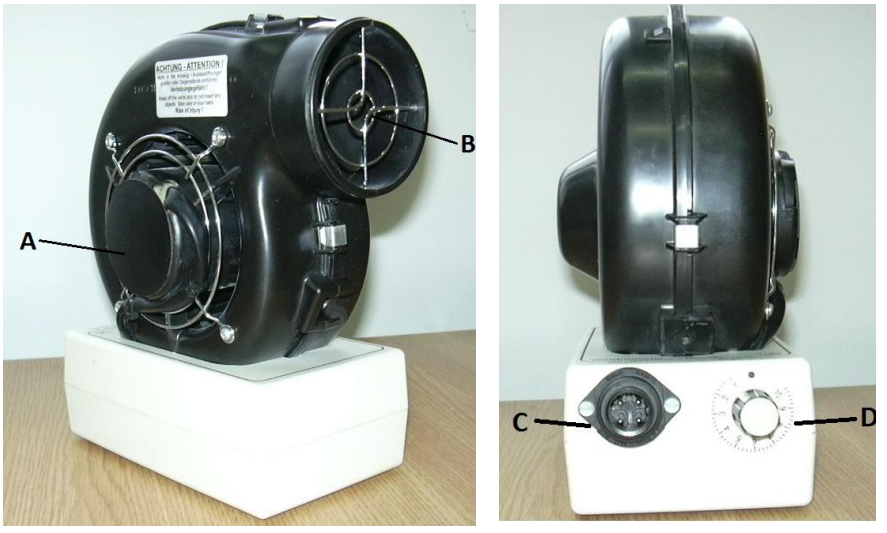


Fig.9.1. Ventilatorul

unde U reprezintă tensiunea electrică iar I intensitatea curentului electric.

Aplicaţia îşi propune să studieze caracteristicile perioada de încărcare a bateriei (variaţia în timp a tensiunii şi a intensităţii curentului) unui sistem eolian izolat.

9.2. Echipamente

Generarea vântului se realizează cu ventilatorul din fig.9.1 [2]; *A* reprezintă zona de absorbţie a aerului; *B* – zona de exhaustare a aerului; *C* – mufa de conectare la cablu de curent; *D* – comutator de selectare a vitezei aerului exhaustat. Etalonarea ventilatorului se realizează prin identificarea corespondenţei dintre poziţia comutatorului *D* şi viteza aerului în dreptul rotorului turbinei eoliene. Viteza aerului se măsoară cu ajutorul anemometrului cu cupe (fig.9.2).

Anemometrul cu cupe conţine [2]: *A* – buton on/off; *B* – buton de selectare a unităţii de măsură; *C* – afişare unitate de măsură (KM/H – km/h, KTS – noduri, M/S – m/s, MP/H – m/h); *D* – afişare viteză a vântului instantanee; *E* – afişare maxim al vitezei vântului de la comutarea “on”; *F* – afişare viteză medie a vântului de la comutarea “on”; *G* – MX (valoarea

maximă), AV (valoare medie); *H* – afişare nivel scară *Beaufort*; *I* – compartiment baterie; *K* – gaură filetată pentru fixarea pe suportul *A*.

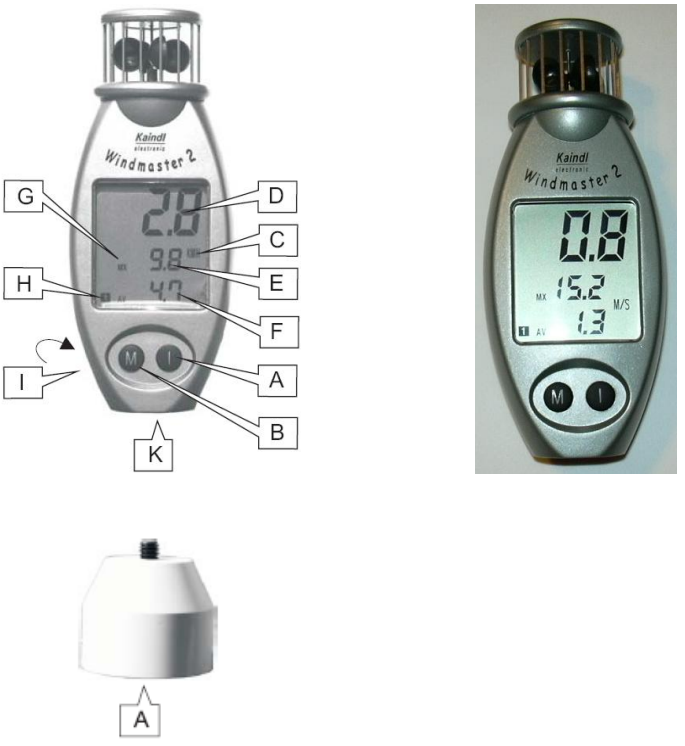


Fig.9.2. Anemometrul cu cupe [2]

Sistemul eolian cu ax orizontal (fig.9.3) conţine [2]: un butuc *A* pe care se pot monta 2, 3 sau 4 pale în locaşul *B*; mufe de conectare *C* la generator şi tahogenerator; ştifturi filetate de fixare a palelor *D*; *E* – *G* găuri de poziţionare a generatorului eolian pe placa de bază.

Ecranul de protecţie (fig.9.4) [2] conţine scala gradată *A* de reglare a unghiului de înclinare a palelor turbinei şi magneţii *B* pentru fixarea pe placa de bază.

Multimetrul (fig.9.5) conţine [2]: un ecran de vizualizare a mărimilor măsurate *A*; *B* comutator de selectare a mărimilor măsurate – **cablurile de legătură se deconectează înainte de poziţionarea comutatorului** (OFF – multimetru oprit; AVC – măsurare tensiune curent alternativ prin conectare la mufele *D* şi *E*; DCA – măsurare intensitate curent continuu prin conectare la mufele *D* şi *E*; 10A – măsurare intensitate curent continuu prin conectare la mufele *C* şi *E* – max. 10 A, conexiune fără siguranţă fuzibilă; OHM – măsurare rezistenţă electrică prin conectare la mufele *D* şi *E*; DCV – măsurare tensiune curent continuu prin conectare la mufele *D* şi *E*; *C* – mufă + conexiune cablu 10 A curent continuu; *D* – mufă + conexiune cablu V / Ω / mA; *E* – mufă - conexiune cablu.

Fig.9.3. Sistemul eolian cu ax orizontal

Elementul de stocare (fig.9.6) [2] reprezintă un sistem de acumulare a energiei caracterizat printr-un acumulator de tip nichel-metalhidrid (NiMh) şi un condensator de tip *GoldCap*. Acumulatorul se încarcă la o tensiune de 1,2 V cu un curent de 6,5 mAh / 10 ore maxim. Capacitatea de încărcare este de 65 mAh. Condensatorul *GoldCap* are capacitatea de 10 F cu o tensiune de încărcare de 2,3 V.

Fig.9.4. Ecranul de protecţie

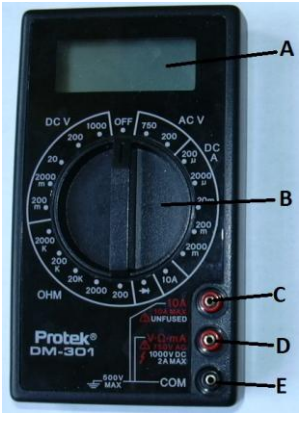


Fig.9.5. Multimetrul

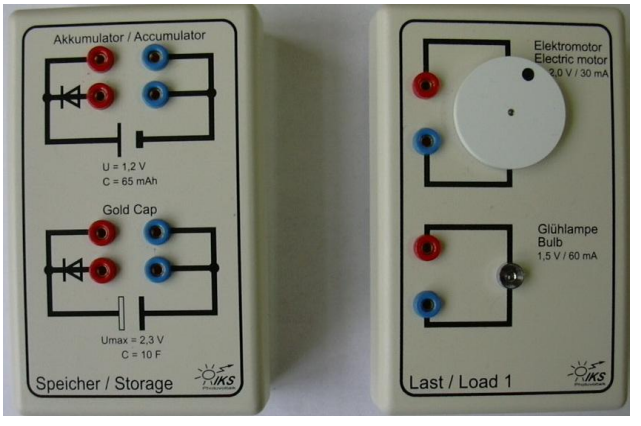


Fig.9.6. Elementul de stocare

Fig.9.7 Sarcina

Sarcina (fig.9.7) [2] constă într-un motor electric şi un consumator de tip bec. Motorul electric se alimentează la o tensiune de 2 V cu un curent maxim de 30 mA. Becul electric se alimentează la o tensiune de 1,5 V cu un curent maxim de 60 mA.

Placa de bază (fig.9.8) conţine [2]: cavitatea *A* pentru montarea ventilatorului; ştifturile *B* pentru fixarea sistemului eolian; canalele *C* pentru montarea ecranului de protecţie; canalul *D* pentru fixarea ecranului obturator; zona *E* pentru montarea modulelor experimentale şi a

instrumentelor de măsură; butonul *F* de fixare a firelor elastice de susţinere a manualelor de utilizare; fanta *G* de fixare a plăcii de bază în geamantan.

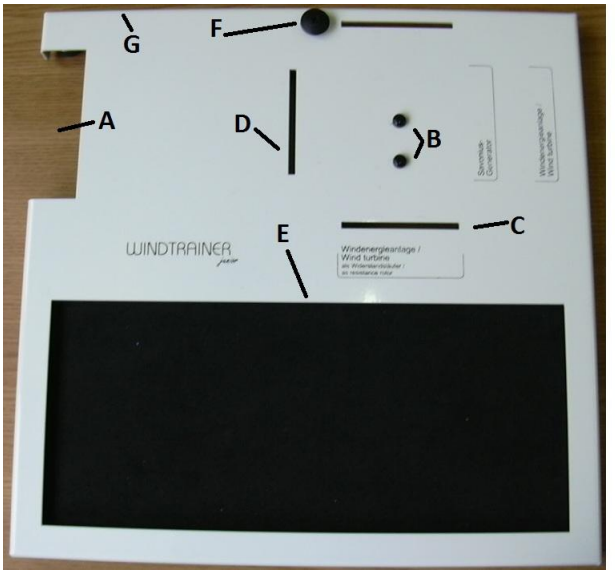


Fig.9.8. Placa de bază

9.3. Testări

Pentru realizarea testărilor se construieşte standul din figura 9.9 ţinând seama de următoarele aspecte:

- măsurarea tensiunii curentului generat de sistemul eolian se realizează prin intermediul unui multimetru utilizat ca şi voltmetru prin fixarea comutatorului acestuia pe poziţia DCV 20 V;
- măsurarea intensităţii curentului generat de sistemul eolian se realizează prin intermediul unui multimetru utilizat ca şi ampermetru prin fixarea comutatorului acestuia pe poziţia DCA 200 mA;
- viteza vântului este reglată prin fixarea succesivă a poziţiei comutatorului *D* al ventilatorului de la poziţia 0 la poziţia 10;

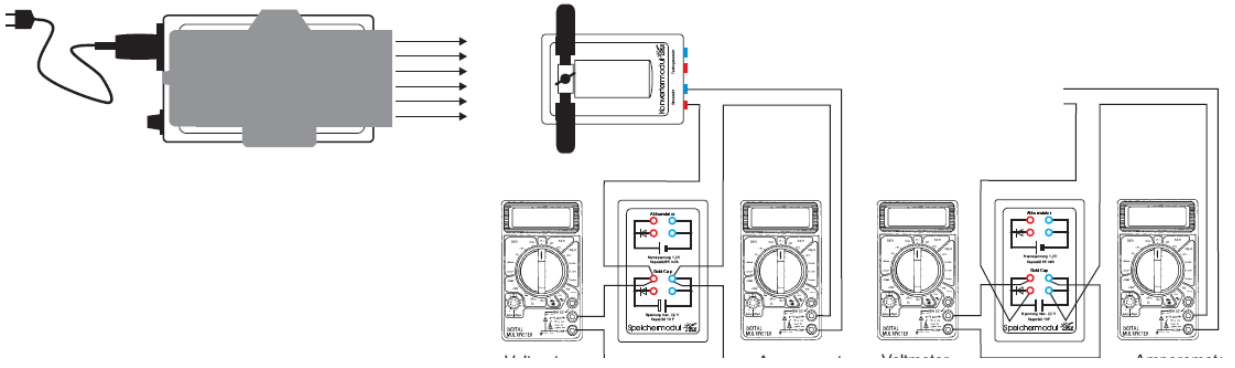


Fig.9.9. Standul de testări [2]

- măsurarea vitezei vântului se realizează prin intermediul anemometrului cu cupe montat pe placa de bază în locul generatorului eolian (fig.9.10); se identifică poziţia comutatorului *D* al ventilatorului pentru valoarea vitezi vântului de 8 m/s;
- mufele superioare ale elementului de stocare a energiei tip *GoldCap* se conectează la cele două multimetre;
- generatorul eolian este montat şi conectat prin mufele superioare la condensatorul *GoldCap* şi prin fixarea comutatorului *D* al ventilatorului pe poziţia corespunzătoare

valorii vitezei vântului de 8 m/s se realizează încărcarea elementului de stocare până când nu mai trece curent prin multimetru (fig.9.11); se citeşte tensiunea la bornele sistemului de încărcare;

Fig. 9.10. Standul cu anemometru cu cupe

Fig.9.11. Încărcarea sistemului

- se opreşte ventilatorul şi se citeşte valoarea intensităţii curentului;
- se descarcă sistemul de stocare a energiei (fig.9.12);
- generatorul eolian se conectează la mufele inferioare ale sistemului *GoldCap*;
- multimetrul cu rol de ampermetru se conectează la mufa inferioare a sistemului *GoldCap*;
- multimetrul cu rol de voltmetru rămâne conectat la mufa superioară a sistemului *GoldCap* (fig.9.13);
- se reralizează încărcarea sistemului de stocare până când nu mai trece curent prin multimetru; se citeşte tensiunea şi intensitatea curentului;

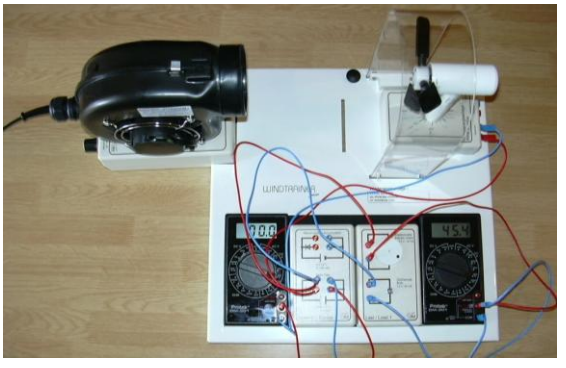


Fig.9.12. Descărcarea sistemului de stocare

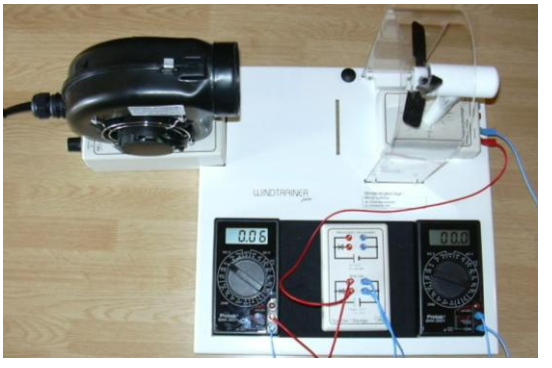


Fig.9.13. Standul nr.2

- se descarcă sistemul de stocare a energiei (fig.9.12);
- se încarcă sistemul şi se trec în tabelul 9.1 valorile tensiunii şi intensităţii curentului;
- se trasează, pe acelaşi grafic, variaţia în timp a intensităţii curentului şi respectiv, a tensiunii;

- parametrii necesari testărilor sunt: numărul de pale – 3; forma palelor – dreaptă; unghiul de înclinare a palelor – 45^o; viteza vântului – 8 m/s.

9.4. Rezultate

Rezultatele măsurătorilor se scriu în tabelul 9.1.

Se trasează pe acelaşi grafic, curbele de variaţie în timp a tensiunii şi intensităţii curentului electric.

Tabelul 9.1. Rezultatele măsurătorilor

Timp, min	Tensiune cu curent, V	Intensitate curent, *I* mA
0		
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

9.5. Concluzii

Se identifică concluziile referitoare la:

- valoarea tensiunii în momentul încărcării complete a sistemului de stocare;
- valoarea intensităţii curentului electric în momentul opririi ventilatorului;
- graficele de variaţie în timp a tensiunii şi intensităţii curentului electric.

Bibliografie

1. www.iks-photovoltaik.de
2. Kunsch, H., Schröder, M. Windtrainer junior. Experiments on Wind Energy. Instructions. Version 02/2007. Kassel, Germany.
3. Kunsch, H., Schröder, M. Windtrainer junior. Experiments on Wind Energy. Solutions. Version 02/2007. Kassel, Germany.

Aplicaţia 10

STUDIUL CARACTERISTICII CURENT – TENSIUNE PENTRU O TURBINĂ EOLIANĂ

10.1. Obiectivul aplicaţiei

Caracteristica curent – tensiune a unei turbine eoliene caracterizează generatorul electric al sistemului eolian.

Aplicaţia îşi propune să realizeze trasarea caracteristicii curent – tensiune pentru o turbină eoliană cu ax orizontal, prin intermediul unui echipament şi respectiv, soft de achiziţie specific.

10.2. Echipamente

Generarea vântului se realizează cu ventilatorul din fig.10.1 [2]; *A* reprezintă zona de absorbţie a aerului; *B* – zona de exhaustare a aerului; *C* – mufa de conectare la cablu de curent; *D* – comutator de selectare a vitezei aerului exhaustat. Etalonarea ventilatorului se realizează prin identificarea corespondenţei dintre poziţia comutatorului *D* şi viteza aerului în dreptul rotorului turbinei eoliene. Viteza aerului se măsoară cu ajutorul anemometrului cu cupe (fig.10.2).

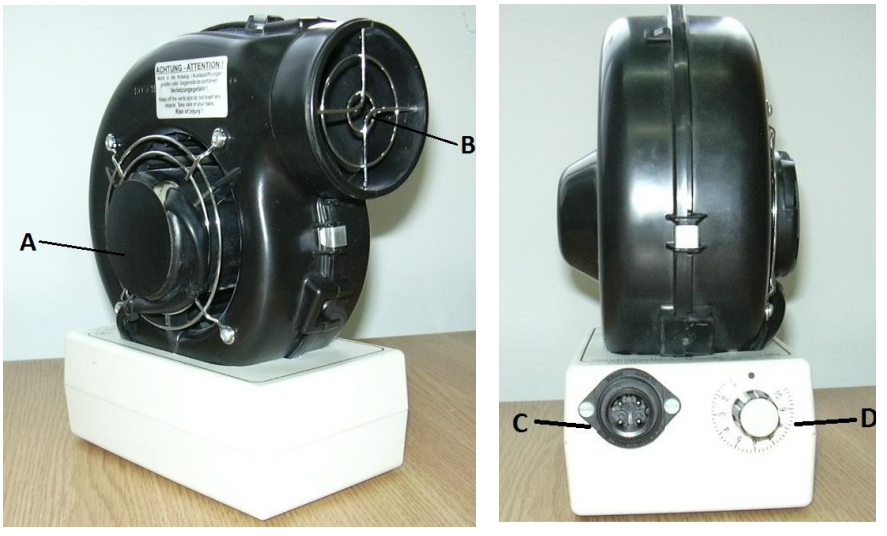


Fig.10.1. Ventilatorul

Anemometrul cu cupe conţine [2]: *A* – buton on/off; *B* – buton de selectare a unităţii de măsură; *C* – afişare unitate de măsură (KM/H – km/h, KTS – noduri, M/S – m/s, MP/H – m/h); *D* – afişare viteză a vântului instantanee; *E* – afişare maxim al vitezei vântului de la comutarea "on"; *F* – afişare viteză medie a vântului de la comutarea "on"; *G* – MX (valoarea maximă), AV (valoare medie); *H* – afişare nivel scară *Beaufort*; *I* – compartiment baterie; *K* – gaură filetată pentru fixarea pe suportul *A*.

Sistemul eolian cu ax orizontal (fig.10.3) conţine [2]: un butuc *A* pe care se montează palele în locaşul *B*; mufe de conectare *C* la generator şi tahogenerator; ştifturi filetate de fixare a palelor *D*; *E* – *G* găuri de poziţionare a generatorului eolian pe placa de bază.

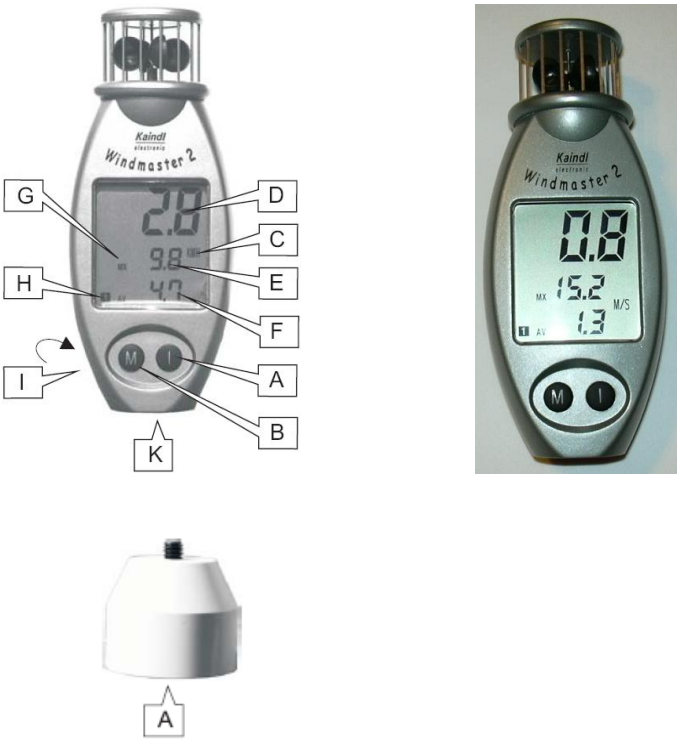


Fig.10.2. Anemometrul cu cupe [2]

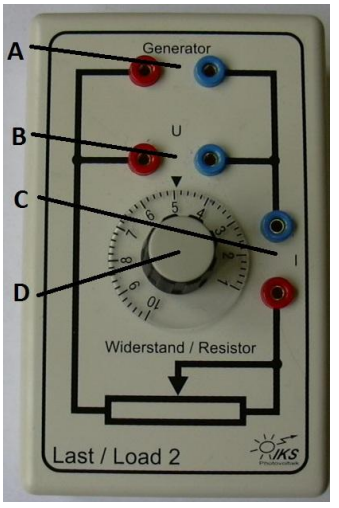
Ecranul de protecţie (fig.10.4) [2] conţine scala gradată *A* de reglare a unghiului de înclinare a palelor turbinei şi magneţii *B* pentru fixarea pe placa de bază.

Sarcina (fig.10.5) [2] reprezintă o încărcare cu rezistenţa electrică de 100 Ω şi puterea maximă de 2 W şi are în componenţă: *A* – conexiunea generatorului; *B* – conexiunea multimetrului pentru măsurarea tensiunii; *C* – conexiunea multimetrului pentru măsurarea intensităţii curentului; *D* – buton rotativ pentru creşterea rezistenţei.

Fig.10.3. Sistemul eolian cu ax orizontal

Data logger-ul (fig.10.6) [2] este utilizat pentru achiziţia la calculator a datelor referitoare la tensiune şi intensitatea curentului electric. Semnalul analogic este transformat în semnal digital şi transferat la calculator prin intermediul unei interfaţe RS 232. Intrarea 1 (*A*) este

pentru tensiune (max 2,5 V) iar intrarea 2 (*B*) pentru curent de până la 200 mA. *C* reprezintă conexiunea prin cablul de interfaţă (fig.10.7) la calculator (port COM). *D* reprezintă butonul ON/OFF, iar *E*, compartimentul bateriilor. Factorul soft pentru canalul intensitate curent este 200, iar pentru canalul tensiune curent 2,5.



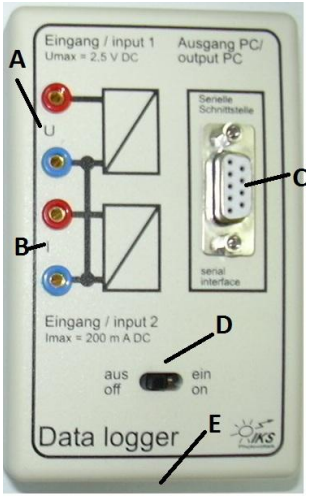
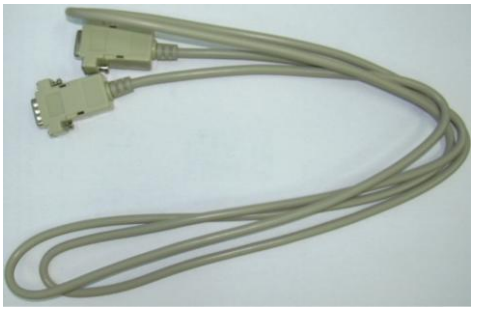


Fig.10.4. Ecranul de protecţie Fig.10.5. Sarcina Fig.10.6. Data logger-ul

Placa de bază (fig.10.8) conţine [2]: cavitatea *A* pentru montarea ventilatorului; ştifturile *B* pentru fixarea sistemului eolian; canalele *C* pentru montarea ecranului de protecţie; canalul *D* pentru fixarea ecranului obturator; zona *E* pentru montarea modulelor experimentale şi a instrumentelor de măsură; butonul *F* de fixare a firelor elastice de susţinere a manualelor de utilizare; fanta *G* de fixare a plăcii de bază în geamantan.



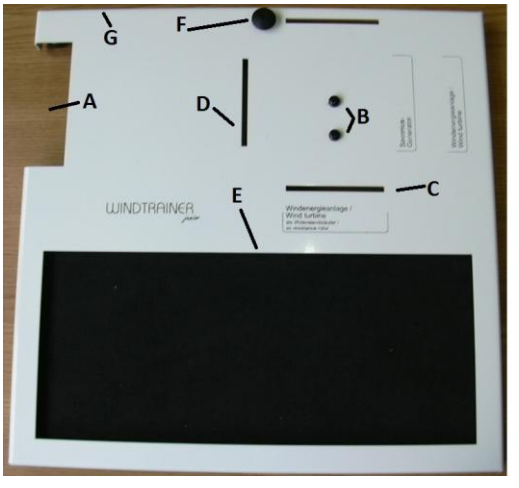


Fig.10.7. Cablul de interfaţă Fig.10.8. Placa de bază

10.3. Testări

Pentru realizarea testărilor se construieşte standul din figura 10.9 ţinând seama de următoarele aspecte:

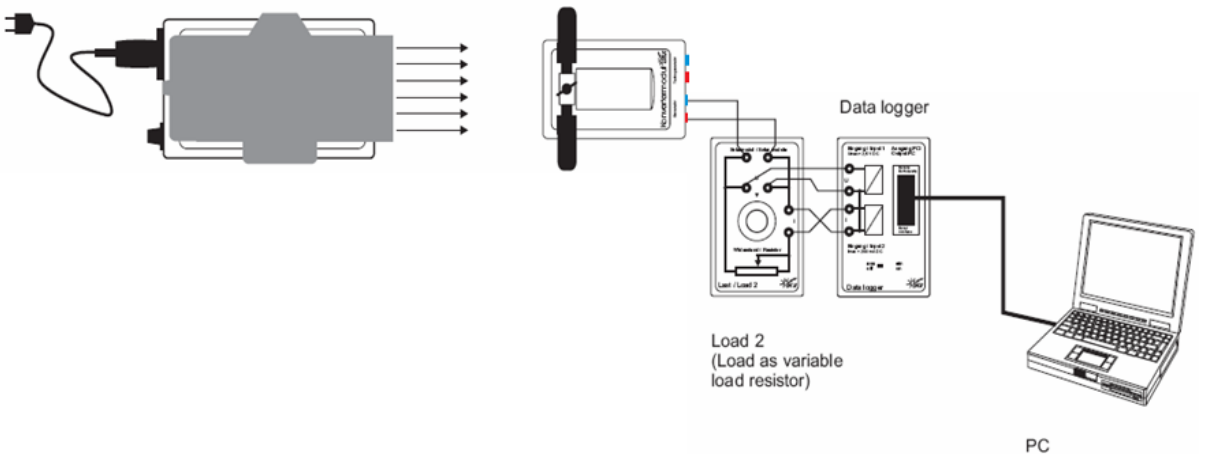


Fig.10.9. Standul de testări [2]

- viteza vântului este reglată prin fixarea succesivă a poziţiei comutatorului *D* al ventilatorului de la poziţia 0 la poziţia 10;

Fig.10.10. Standul cu anemometru cu cupe

- măsurarea vitezei vântului, pentru fiecare poziţie, se realizează prin intermediul anemometrului cu cupe montat pe placa de bază în locul generatorului eolian (fig.10.10); rezultatele se trec în tabelul 10.1;

Fig.10.11. Standul cu sistemul eolian

- prin montarea sistemului eolian şi conectarea sistemelor de măsură se realizează măsurarea tensiunii şi intensităţii curentului pentru fiecare poziţie a comutatorului ventilatorului (fig.10.11). Parametrii necesari testărilor sunt: numărul de pale – 3; forma palelor – dreaptă; unghiul de înclinare a palelor – 45°; viteza vântului – corespunzătoare poziţiei comutatorului ventilatorului de la 0 la 10; rezistenţa electrică a sarcinii – 50 Ω;
- se rulează programul ***IKS – Solartrainer*** şi se execută click pe meniul ***Measuring*** selectându-se ***x/y Characteristic Curve***;
- se completează câmpurile cu valorile indicate în fig.10.12;
- se porneşte data logger-ul; se execută click pe ***OK***; se generează un grafic gol peste care într-o fereastră apar valorile instantanee ale intensităţii curentului şi tensiunii;

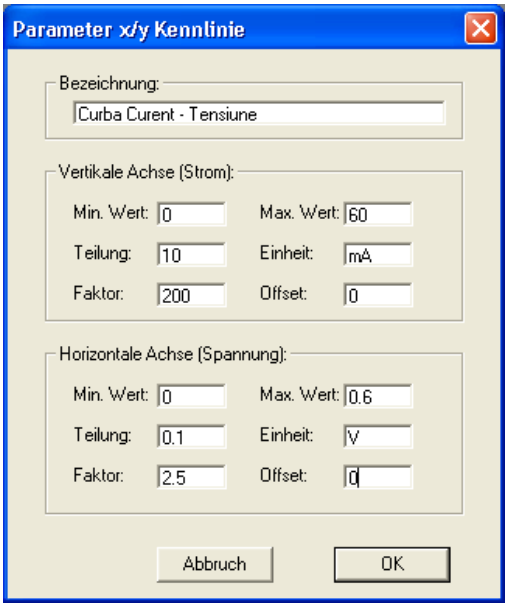


Fig.10.12. Parametrii de achiziţie

- pentru fiecare poziţie a comutatorului ventilatorului se execută click pe butonul ***OK***, pentru salvarea datelor;
- achiziţia se încheie prin ***Abort***.

10.4. Rezultate

Rezultatele măsurătorilor se scriu în tabelul 10.1.

Se salvează graficul generat (caracteristica curent – tensiune) – fig.10.13.

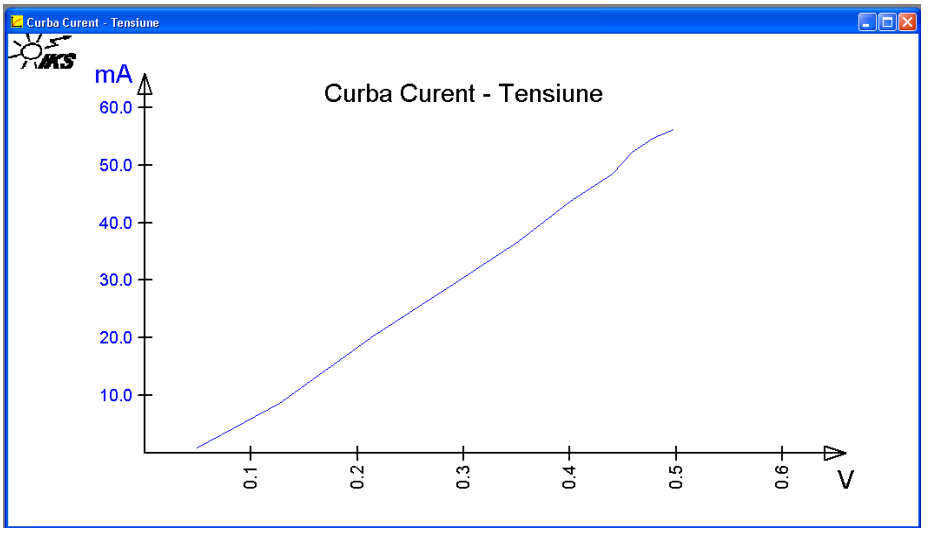


Fig.10.13. Caracteristica curent tensiune

Tabelul 10.1. Rezultatele măsurătorilor

Poziţie comutator ventilator	Viteza vântului, m/s	Tensiune, V	Intensitate curent, mA
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

10.5. Concluzii

Se identifică concluziile referitoare la caracteristica curent - tensiune şi influenţa vitezei vântului asupra acestui grafic.

Bibliografie

1. www.iks-photovoltaik.de
2. Kunsch, H., Schröder, M. Solartrainer junior. Experiments with Solar Cells. Instructions. Version 02/2007. Kassel, Germany.
3. Kunsch, H., Schröder, M. Solartrainer junior. Experiments with Solar Cells. Solutions. Version 02/2007. Kassel, Germany.
4. Kunsch, H., Schröder, M. Windtrainer junior. Experiments on Wind Energy. Instructions. Version 02/2007. Kassel, Germany.
5. Kunsch, H., Schröder, M. Windtrainer junior. Experiments on Wind Energy. Solutions. Version 02/2007. Kassel, Germany.

Aplicaţia 11

STUDIUL COMPORTĂRII INVERTORULUI UNUI SISTEM EOLIAN

11.1. Obiectivul aplicaţiei

O turbină eoliană de mică putere produce, de regulă, curent continuu. Mulţi consumatori necesită pentru funcţionare, curent alternativ. Elementul care transformă curentul continuu în curent alternativ este invertorul. Pentru sisteme izolate şi puteri mici se utilizează, din raţiuni economice, invertoare cu semnal rectangular. Pentru puteri mari şi precizii ridicate se utilizează invertoare cu semnal sinusoidal.

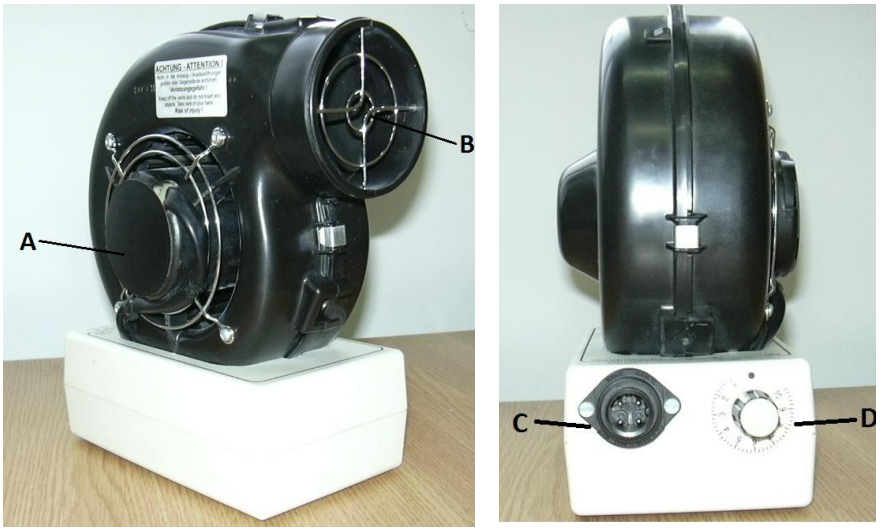


Fig.11.1. Ventilatorul

Aplicaţia îşi propune să realizeze trasarea graficului de curent alternativ pentru o turbină eoliană cu ax orizontal, prin intermediul unui echipament şi respectiv, soft de achiziţie specific.

11.2. Echipamente

Generarea vântului se realizează cu ventilatorul din fig.11.1 [2]; *A* reprezintă zona de absorbţie a aerului; *B* – zona de exhaustare a aerului; *C* – mufa de conectare la cablu de curent; *D* – comutator de selectare a vitezei aerului exhaustat. Etalonarea ventilatorului se realizează prin identificarea corespondenţei dintre poziţia comutatorului *D* şi viteza aerului în dreptul rotorului turbinei eoliene. Viteza aerului se măsoară cu ajutorul anemometrului cu cupe (fig.11.2).

Anemometrul cu cupe conţine [2]: *A* – buton on/off; *B* – buton de selectare a unităţii de măsură; *C* – afişare unitate de măsură (KM/H – km/h, KTS – noduri, M/S – m/s, MP/H – m/h); *D* – afişare viteză a vântului instantanee; *E* – afişare maxim al vitezei vântului de la comutarea "on"; *F* – afişare viteză medie a vântului de la comutarea "on"; *G* – MX (valoarea maximă), AV (valoare medie); *H* – afişare nivel scară *Beaufort*; *I* – compartiment baterie; *K* – gaură filetată pentru fixarea pe suportul *A*.

Sistemul eolian cu ax orizontal (fig.11.3) conţine [2]: un butuc *A* pe care se montează palele în locaşul *B*; mufe de conectare *C* la generator şi tahogenerator; ştifturi filetate de fixare a palelor *D*; *E* – *G* găuri de poziţionare a generatorului eolian pe placa de bază.

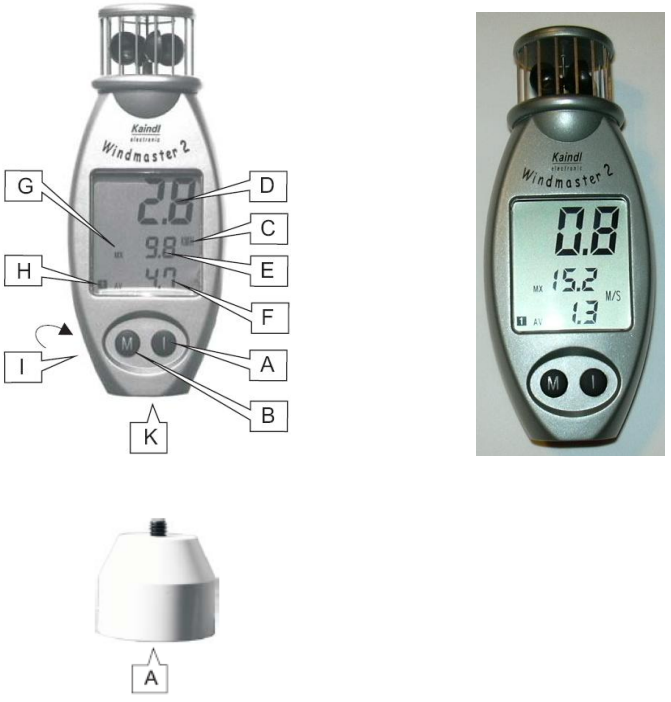


Fig.11.2. Anemometrul cu cupe [2]

Ecranul de protecţie (fig.11.4) [2] conţine scala gradată *A* de reglare a unghiului de înclinare a palelor turbinei şi magneţii *B* pentru fixarea pe placa de bază.

Invertorul (fig.11.5) [2] converteşte curentului continuu în curent alternativ. Intrarea 1 (*A*) şi intrarea 2 (B) sunt pentru tensiune (max 2 V). *C* reprezintă ieşirea 1 în semnal sinusoidal, iar *D* reprezintă ieşirea 2 în semnal rectangular. *E* reprezintă butonul ON/OFF, iar *F*, compartimentul bateriilor.

Fig.11.3. Sistemul eolian cu ax orizontal

Data logger-ul (fig.11.6) [2] este utilizat pentru achiziţia la calculator a datelor referitoare la tensiune şi intensitatea curentului electric. Semnalul analogic este transformat în semnal digital şi transferat la calculator prin intermediul unei interfaţe RS 232. Intrarea 1 (*A*) este pentru tensiune (max 2,5 V) iar intrarea 2 (*B*) pentru curent de până la 200 mA. *C* reprezintă

conexiunea prin cablul de interfaţă (fig.11.7) la calculator (port COM). *D* reprezintă butonul ON/OFF, iar *E*, compartimentul bateriilor. Factorul soft pentru canalul intensitate curent este 200, iar pentru canalul tensiune curent 2,5.

Fig.11.4. Ecranul de protecţie

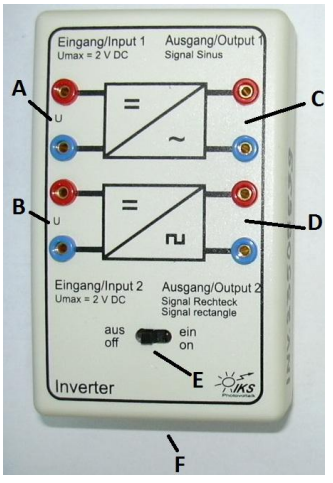


Fig.11.5. Invertorul

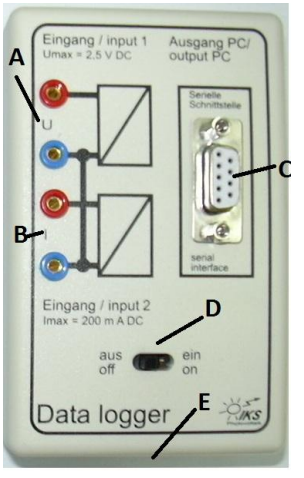


Fig.11.6. Data logger-ul

Placa de bază (fig.11.8) conţine [2]: cavitatea *A* pentru montarea ventilatorului; ştifturile *B* pentru fixarea sistemului eolian; canalele *C* pentru montarea ecranului de protecţie; canalul *D* pentru fixarea ecranului obturator; zona *E* pentru montarea modulelor experimentale şi a instrumentelor de măsură; butonul *F* de fixare a firelor elastice de susţinere a manualelor de utilizare; fanta *G* de fixare a plăcii de bază în geamantan.

Fig.11.7. Cablul de interfaţă

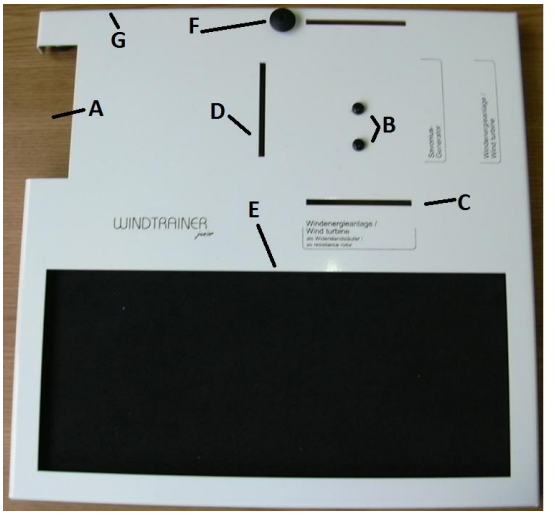


Fig.11.8. Placa de bază

11.3. Testări

Pentru realizarea testărilor se construieşte standul din figura 11.9 ţinând seama de următoarele aspecte:

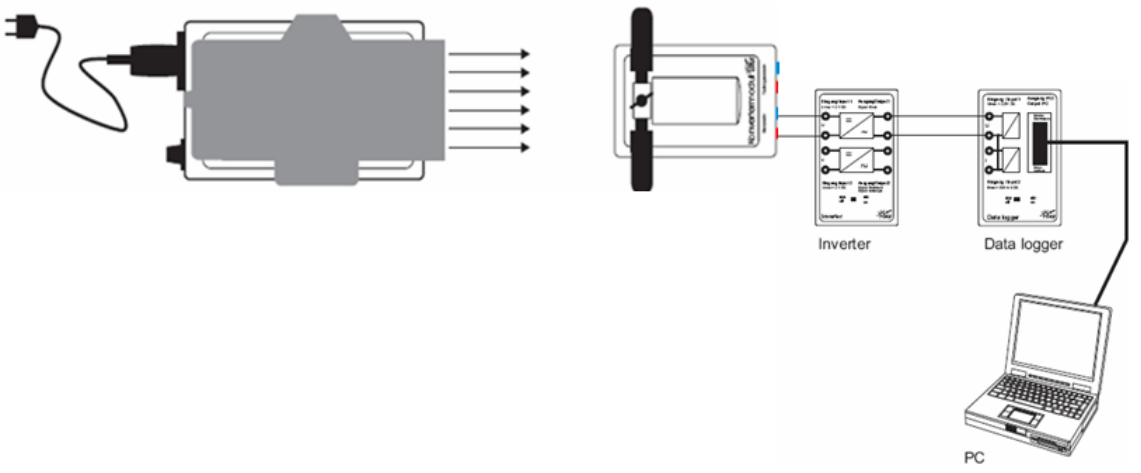


Fig.11.9. Standul de testări [2]

Fig.11.10. Standul cu anemometru cu cupe

- viteza vântului este reglată prin fixarea succesivă a poziţiei comutatorului *D* al ventilatorului de la poziţia 0 la poziţia 10;
- măsurarea vitezei vântului, pentru fiecare poziţie, se realizează prin intermediul anemometrului cu cupe montat pe placa de bază în locul generatorului eolian (fig.11.10); rezultatele se trec în tabelul 11.1;

Fig.11.11. Standul cu sistemul eolian

- prin montarea sistemului eolian şi conectarea sistemelor de măsură se realizează măsurarea tensiunii şi intensităţii curentului pentru fiecare poziţie a comutatorului ventilatorului (fig.11.11). Parametrii necesari testărilor sunt: numărul de pale – 3; forma palelor – dreaptă; unghiul de înclinare a palelor – 45^{o}; viteza vântului – corespunzătoare poziţiei comutatorului ventilatorului de la 0 la 10;
- se rulează programul ***IKS – Solartrainer*** şi se execută click pe meniul ***Measuring*** selectându-se ***y/t Characteristic Curve***;

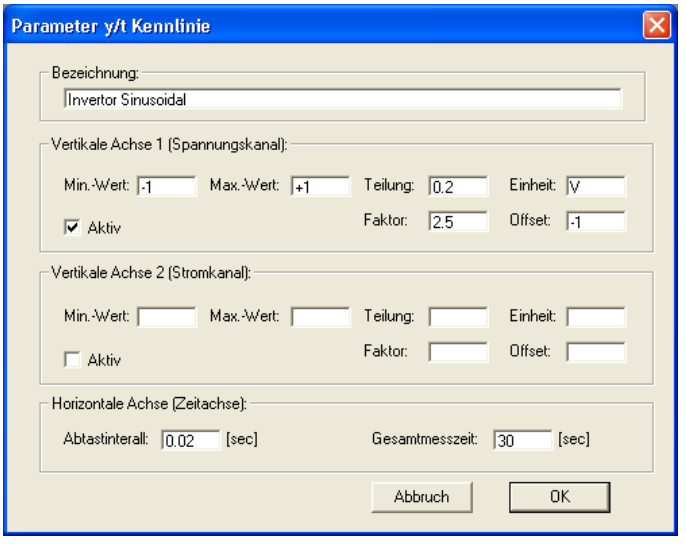


Fig.11.12. Parametrii de achiziţie [2]

- se completează câmpurile cu valorile indicate în fig.11.12;
- se pornesc data logger-ul şi invertorul; se execută click pe ***OK***; se generează graficul achiziţiei pentru fiecare poziţie a comutatorului ventilatorului;
- se repetă achiziţia pentru tipul de undă rectangular.

11.4. Rezultate

Rezultatele măsurătorilor se scriu în tabelul 11.1.

Se salvează graficul generat – fig.11.13.

Tabelul 11.1. Rezultatele măsurătorilor

Poziţie comutator ventilator	Viteza vântului, m/s
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	

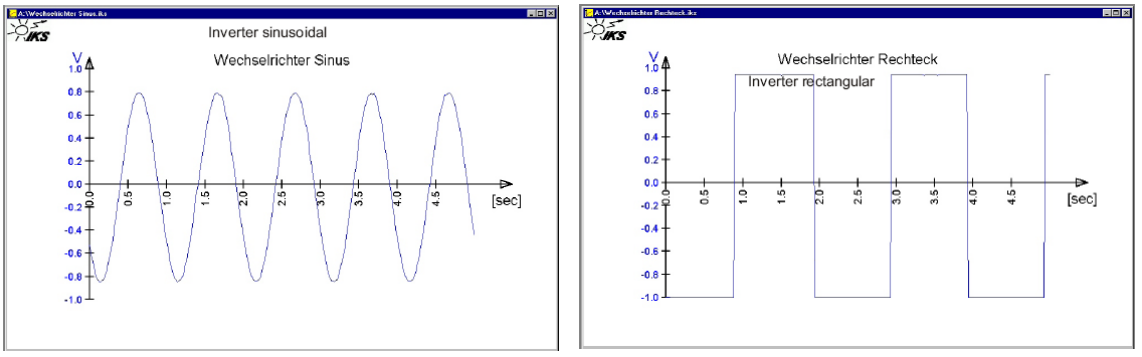


Fig.11.13. Graficul achiziţiilor [2]

11.5. Concluzii

Se identifică concluziile referitoare la influenţa vitezei vântului asupra graficului achiziţiei.

Bibliografie

1. www.iks-photovoltaik.de
2. Kunsch, H., Schröder, M. Solartrainer junior. Experiments with Solar Cells. Instructions. Version 02/2007. Kassel, Germany.
3. Kunsch, H., Schröder, M. Solartrainer junior. Experiments with Solar Cells. Solutions. Version 02/2007. Kassel, Germany.
4. Kunsch, H., Schröder, M. Windtrainer junior. Experiments on Wind Energy. Instructions. Version 02/2007. Kassel, Germany.
5. Kunsch, H., Schröder, M. Windtrainer junior. Experiments on Wind Energy. Solutions. Version 02/2007. Kassel, Germany.

Aplicaţia 12

STUDIUL VARIAŢIEI VITEZEI AERULUI GENERAT DE UN TUNEL AERODINAMIC

12.1. Obiectivul aplicaţiei

Tunelurile aerodinamice sunt utilizate pentru studii în domeniul mecanicii fluidelor şi al aerodinamicii. Măsurările se pot realiza atât în interiorul tunelului (în secţiunea de măsurări), cât şi în exteriorul acestuia, pentru acţiunea unor rotori (elice de avion, rotori, turbine eoliene) prin intermediul aerului generat de tunel. Pentru asemenea determinări experimentale este necesar să se cunoască valoarea vitezei aerului la diferite distanţe de tunel în funcţie de valoarea reglată a aerului în interiorul tunelului.

Aplicaţia îşi propune să realizeze trasarea graficului variaţiei vitezei aerului la diferite distanţe de tunel, în funcţie de valoarea vitezei reglate în secţiunea de măsurări a tunelului.

12.2. Echipamente

Tunelul aerodinamic utilizat în testări (fig.12.1) [2] este unul subsonic (viteza aerului ajunge până la 0,1 Mach), cu circuit deschis (aerul este preluat din exterior şi expulzat tot în exterior, cu viteză mărită).

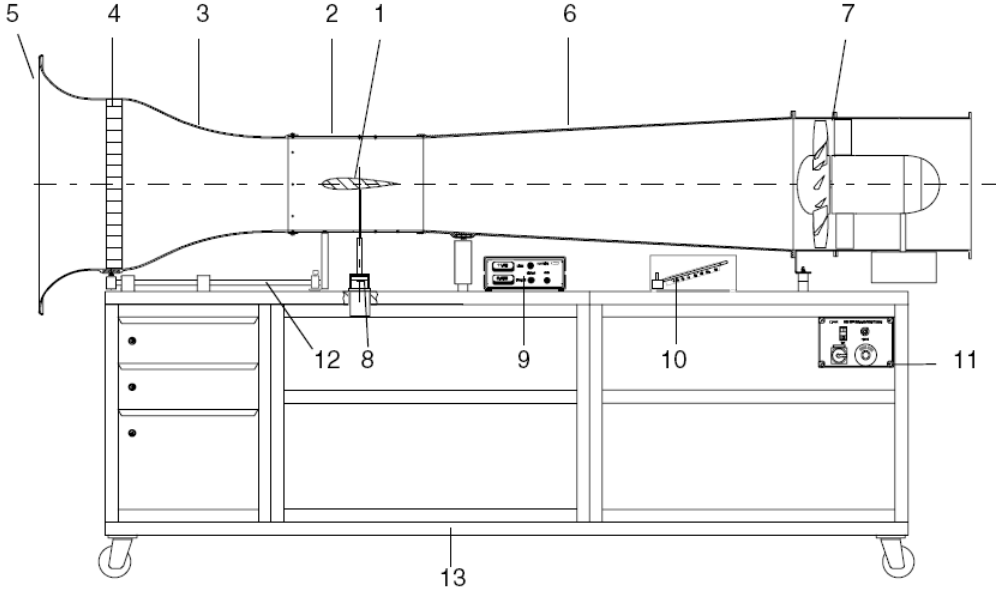
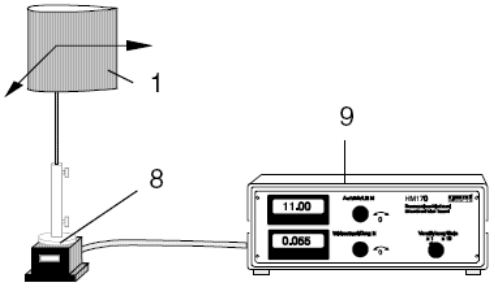


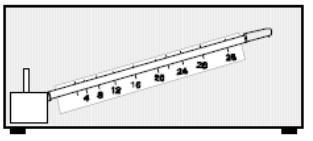
Fig.12.1. Tunelul aerodinamic [2]

Modelul experimental *1* este fixat în secţiunea de măsurări *2*. Aerul este absorbit în tunel prin pâlnia de alimentare *5* iar curgerea laminară este asigurată prin secţiunea *4* (eventualele

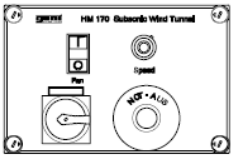
componente transversale ale circulaţiei aerului sunt reduse la zero). Curgerea laminară a aerului este accelerată de aproximativ 3,3 ori în secţiunea *3*; zona *6* a tunelului realizează decelerarea vitezei aerului care este exhaustat în exterior prin ventilatorul *7*.

Măsurarea forţelor se relizează prin intermediul traductorului de forţă *8*, care este solidar cu modelul experimental *1* (fig.12.2). Prin acest traductor, în interiorul tunelului se pot realiza măsurători (după 2 direcţii – antrenare şi portanţă) referitoare la: forţe, viteze, presiuni, coeficientul aerodinamic de antrenare (*drag*) şi de portanţă (*lift*). Valorile măsurate pentru forţe se pot vizualiza pe ecranul amplificatorului *9* (v. fig.12.2).





10



11

Fig.12.2. Sistemul de măsurare [2] Fig.12.3. Tubul manometric [2] Fig.12.4. Panoul de comandă [2]

Viteza aerului în secţiunea de măsurări *2* se poate citi la tubul manometric înclinat *10* (fig.12.3). Panoul de comandă *11* (fig.12.4) conţine un comutator principal ON/OFF de alimentare cu energie electrică, un buton de oprire de urgenţă, un buton de reglare a vitezei aerului (convertor în frecvenţă) şi un comutator ON/OFF al ventilatorului.

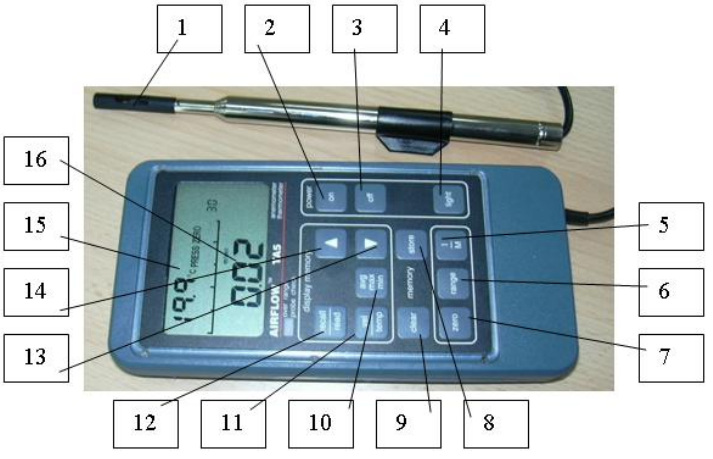


Fig.12.5. Anemometrul termic

Şina *12* permite translatarea peretelui lateral al secţiunii de măsurări şi accesul la interiorul secţiunii Sistemul este amplasat pe batiul *13* prevăzut cu role.

Anemometrul termic are următoarele facilităţi: *1* – sensor de tip marcă tensometrică; *2* – buton on; *3* – buton off; *4* – buton de luminare a ecranului; *5* – buton de calcul a valorii medii măsurate; *6* – setare a unităţii de măsură; *7* – buton de calibrare; *8* – buton de memorare; *9* – buton de ştergere a valorii memorate; *10* – buton de afişare a valorii minime, maxime, medii măsurate de la activarea butonului "on"; *11* – buton de afişare a

temperaturii măsurate; *12* – buton de afişare a vitezei vântului măsurate; *13* – buton derulare jos; *14* – buton derulare sus; *15* – afişare valoare temperatură măsurată; *16* – afişare viteză a vântului măsurată.

12.3. Testări

Pentru realizarea testărilor se utilizează tunelul aerodinamic din figura 12.6 ţinând seama de următoarele aspecte:

Fig.12.6. Tunelul aerodinamic

- pe panoul de comandă *11* (fig.12.4) butonul *2* de alimentare cu energie electrică este poziţionat pe ON (fig.12.7);
- comutatorul ventilatorului *3* este poziţionat pe ON (v. fig.12.7);
- utilizând butonul de reglare a vitezei aerului *4*, se reglează viteza aerului în interiorul tunelului $\mathbf{v_t}$ (reglarea valorilor se realizează prin citirea acestora la manometrul înclinat *10* – fig.12.1) conform valorilor din tabelul 12.1; în caz de urgenţă se poate utiliza butonul *1* de oprire automată a sistemului v. fig.12.7);
- pentru fiecare valoare reglată a vitezei aerului în interiorul tunelului se citesc valorile vitezei aerului $\mathbf{v_a}$

Fig.12.7. Panoul de comandă

în exteriorul tunelului, la distanţele 0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 m de acesta; măsurarea vitezei se realizează cu anemometrul termic.

12.4. Rezultate

Rezultatele măsurătorilor se scriu în tabelul 12.1. Se trasează, pe acelaşi grafic, seriile de curbe de variaţie a vitezelor măsurate în exteriorul tunelului aerodinamic în funcţie de viteza reglată în secţiunea de măsurare a tunelului.

Tabelul 12.1

d, m	v_t, m/s	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
0	v_{a0}, m/s															
0.5	v_{a1}, m/s															
1	v_{a2}, m/s															
1.5	v_{a3}, m/s															
2	v_{a4}, m/s															
2.5	v_{a5}, m/s															

12.5. Concluzii

Se identifică concluziile referitoare la variaţia vitezei vântului în exteriorul tunelului aerodinamic în funcţie de distanţa faţă de tunel.

Bibliografie

1. www.gunt.de
2. * * *. Equipment for Engineering Education. Operating Instructions. HM170 Educational Wind Tunnel. G.U.N.T. Gerätebau GmBH. Barsbüttel, Germany.

Aplicaţia 13

TRASAREA CURBEI DE PUTERE PENTRU O TURBINĂ EOLIANĂ DE MICĂ PUTERE DE TIP *AirX*

13.1. Obiectivul aplicaţiei

Caracteristica principală a unei turbine eoliene o reprezintă curba de putere, exprimată grafic prin depenedenţa dintre viteza vântului care acţionează asupra rotorului turbinei şi puterea electrică generată de către turbina eoliană. Prin trasarea curbei de putere se pot identifica parametrii specifici turbinei: viteza de pornire a turbinei (*start-up wind speed* – viteza vântului la care rotorul începe să se rotească); viteza de pornire a generatoruluiu eolian (*cut-in wind speed* – viteza vântului la care turbina începe să genereze curent electric); viteza nominală a turbinei eoliene (*nominal wind speed* – viteza vântului la care turbina generează puterea electrică nominală); viteza de oprire a generatorului eolian (*cut-out wind speed* – viteza vântului de la care rotorul turbinei se opreşte).

Puterea generată de o turbină eoliană depinde de viteza vântului, conform relaţiei

$$P = 0.5\rho v^3 A C_p , \tag{13.1}$$

în care: ρ reprezintă densitatea aerului (ρ=1.2255 kg/m^3 la nivelul mării); v – viteza vântului; A – aria rotorului turbinei; C_p – coeficientul de putere

$$C_p = \eta_m \eta_e \eta_a , \tag{13.2}$$

unde: η_m reprezintă randamentul transmisiei mecanice (η_m=0.95 … 0.97); η_e – radamentul componentelor electrice (η_e=0.97 … 0.98); η_a – eficienţa aerodinamică (depinde de caracteristicile zonei în care se realizează măsurătorile şi are valoarea maximă η_a=0.38).

Puterea electrică generată de către turbină se exprimă prin

$$P = UI = \frac{U^2}{R} , \tag{13.3}$$

unde U reprezintă tensiunea electrică, I intensitatea curentului electric iar R rezistenţa electrică.

Aplicaţia îşi propune să realizeze trasarea curbei de putere teoretice şi experimentale a unei turbine eoliene cu ax orizontal de tip *AirX*.

13.2. Echipamente

Tunelul aerodinamic utilizat (fig.13.1) [3] este unul subsonic (viteza aerului ajunge până la 0,1 Mach), cu circuit deschis (aerul este preluat din exterior şi expulzat tot în exterior, cu viteză mărită).

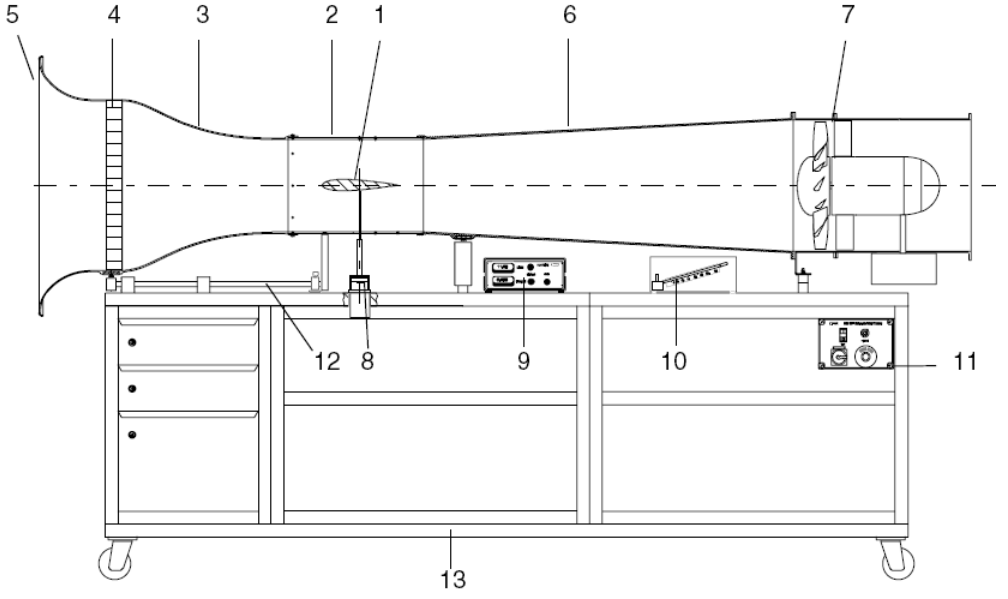


Fig.13.1. Tunelul aerodinamic [3]

Modelul experimental *1* este fixat în secţiunea de măsurări *2*. Aerul este absorbit în tunel prin pâlnia de alimentare *5* iar curgerea laminară este asigurată prin secţiunea *4* (eventualele componente transversale ale circulaţiei aerului sunt reduse la zero). Curgerea laminară a aerului este accelerată de aproximativ 3,3 ori în secţiunea *3*; zona *6* a tunelului realizează decelerarea vitezei aerului care este exhaustat în exterior prin ventilatorul *7*.

Măsurarea forţelor se relizează prin intermediul traductorului de forţă *8*, care este solidar cu modelul experimental *1* (fig.13.2). Prin acest traductor, în interiorul tunelului se pot realiza măsurători (după 2 direcţii – antrenare şi portanţă) referitoare la: forţe, viteze, presiuni, coeficientul aerodinamic de antrenare (*drag*) şi de portanţă (*lift*). Valorile măsurate pentru forţe se pot vizualiza pe ecranul amplificatorului *9* (v. fig.13.2).

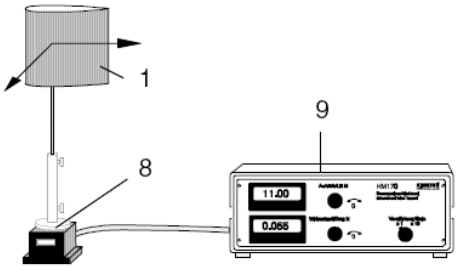


Fig.13.2. Sistemul de măsurare

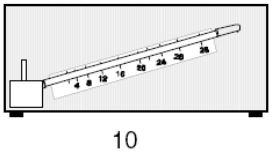


Fig.13.3. Tubul manometric

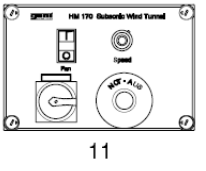


Fig.13.4. Panoul de comandă

Viteza aerului în secţiunea de măsurări *2* se poate citi la tubul manometru înclinat *10* (fig.13.3). Panoul de comandă *11* (fig.13.4) conţine un comutator principal ON/OFF de alimentare cu energie electrică, un buton de oprire de urgenţă, un buton de reglare a vitezei aerului (convertor în frecvenţă) şi un comutator ON/OFF al ventilatorului.

Şina *12* permite translatarea peretelui lateral al secţiunii de măsurări şi accesul la interiorul secţiunii Sistemul este amplasat pe batiul *13* prevăzut cu role.

Turbina eoliană AirX (fig.13.5) generează, conform fişei tehnice [2], o putere nominală de 400 W, la viteza vântului de 12,5 m/s. Tensiunea electrică la turbină este de 24 V, diametrul rotorului are 1,15 m, iar viteza *cut-in* la care turbina începe să genereze curent electric este 2,7 m/s. Curba teoretică de putere este prezentată în figura 13.6.

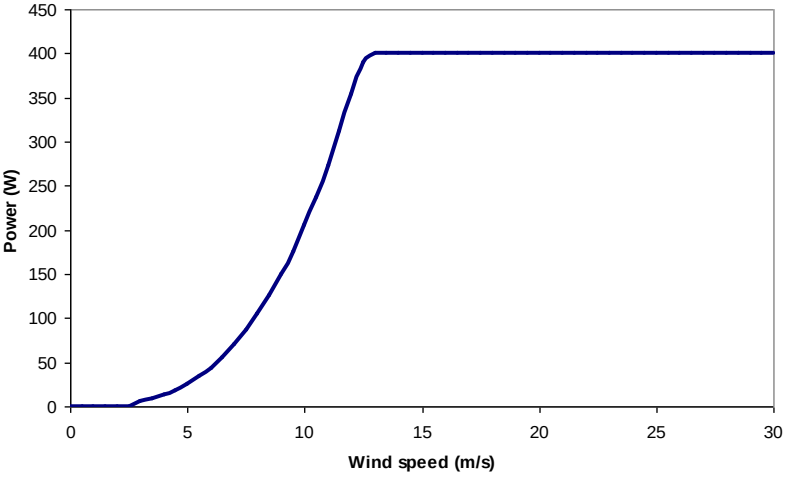


Fig.13.5. Turbina eoliană AirX

Fig.13.6. Curba teoretică de putere

Curentul continuu generat de turbina eoliană este transformat în curent alternativ prin intermediul unui invertor de tip *XANTREX* (fig.13.7) care funcţionează cu tensiunea nominală de 24 V şi are puterea de 3300 W; intensiatatea maximă a curentului este de 176 A. Invertorul funcţionează în regim de undă sinusoidală şi oferă posibilităţi de programare (pornirea/oprirea automată a generatorului, sesizarea automată a sarcinii, funcţionarea atât în regim de invertor cât şi în regim de redresor pentru încărcarea bateriilor.

Fig.13.7. Invertorul

Fig.13.8. Bateria

Energia produsă este stocată într-un sistem de 2 baterii de tip *NEWMAX* de 12 V care funcţionează la maxim 42 Ah (fig.13.8).

Fig.13.9. Cutia cu şunturi

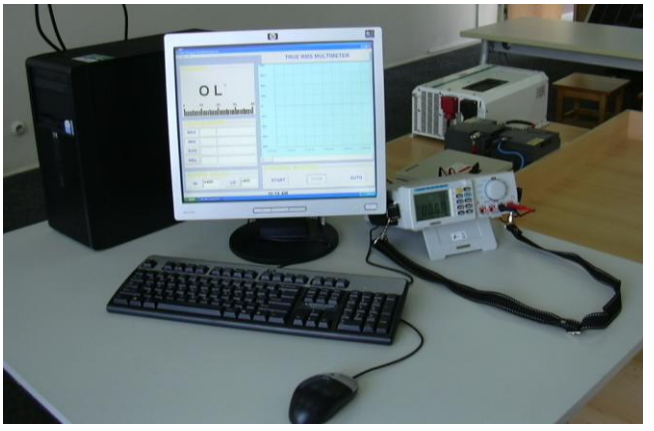


Fig.13.10. Sistemul de achiziţie

Măsurarea curentului se realizează prin cutia cu şunturi care oferă posibilitatea de măsurare a curentului la turbină, baterii şi invertor (fig.13.9).

Achiziţia datelor se realizează prin intermediul data loger-ului conectat la calculator (fig.13.10) utilizând soft-ul de achiziţie *DMM* (fig.13.11). În meniul *Setup* se pot seta limitele intervalului de măsurare a tenisunii şi perioada de timp pentru care se realizează achiziţia (fig.13.12).

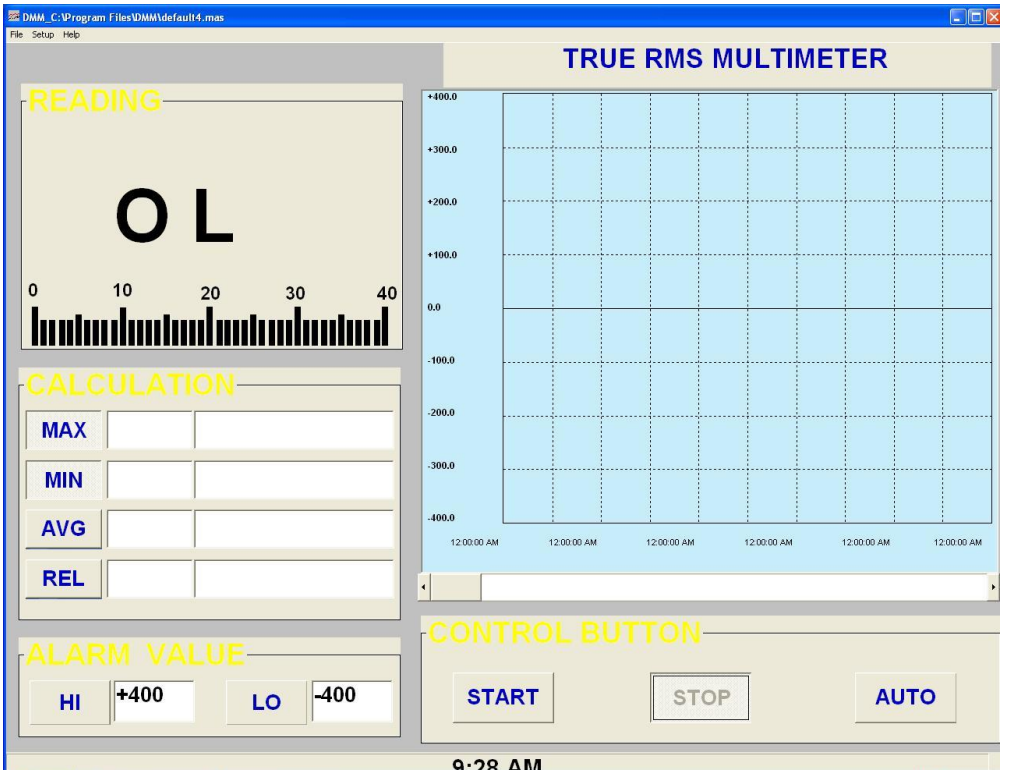


Fig.13.11. Soft-ul de achiziţie [2]

13.3. Testări

Pentru realizarea testărilor se realizează sistemul de testare din figura 13.13 ţinând seama de următoarele aspecte:

- se porneşte data loger-ul conectat la calculator şi la cutia cu şunturi (fig.13.10);
- se porneşte soft-ul de achiziţie DMM (fig.13.11);
- pe panoul de comandă *11* (fig.13.4) al tunelului aerodinamic, butonul *2* de alimentare cu energie electrică este poziţionat pe ON (fig.13.14);

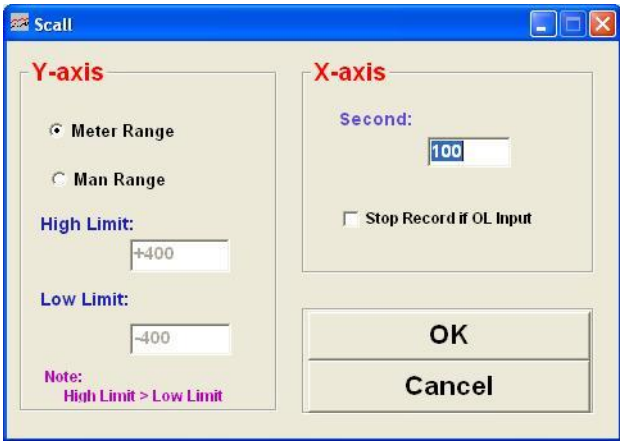


Fig.13.12. Setarea limitelor de achiziţie

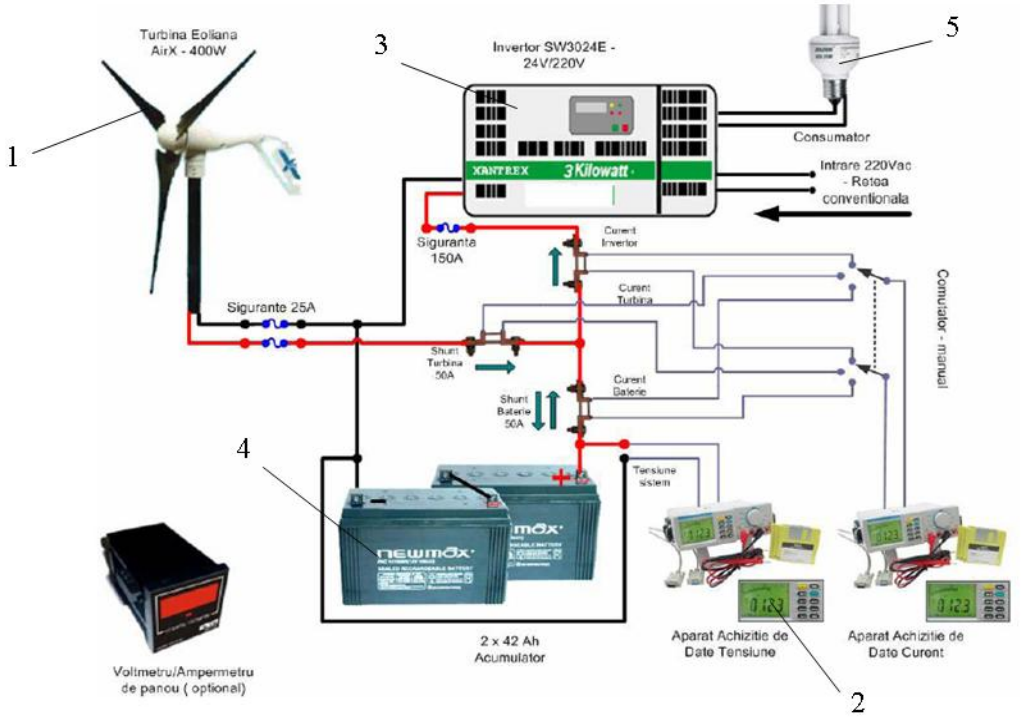


Fig.13.13. Sistemul de testare [2]

- comutatorul ventilatorului *3* este poziţionat pe ON (v. fig.13.14);
- se porneşte invertorul *3* care transformă curentul continuu (produs de turbina eoliană *1*) de la bateriile *4* în curent alternativ (fig.13.13); opţional, se poate conecta la invertor un consumator *5* – fig.13.15;
- utilizând butonul de reglare a vitezei aerului *4*, se reglează viteza aerului în interiorul tunelului $\mathbf{v_t}$ (reglarea valorilor se realizează prin citirea acestora la manometrul înclinat

10 – fig.13.1); în caz de urgenţă se poate utiliza butonul *1* de oprire automată a sistemului v. fig.13.14);

Fig.13.14. Panoul de comandă

- pentru fiecare valoare reglată a vitezei aerului în interiorul tunelului, cu ajutorul *aplicaţiei 12*, se determină valoarea vitezei $\mathbf{v_a}$ la nivelul rotorului turbinei eoliene;
- pentru fiecare valoare reglată a vitezei aerului în interiorul tunelului se citesc valorile tensiunii achiziţionate prin data loger-ul *2* (fig.13.3);
- utilizând relaţiile (13.1) şi (13.3) se determină puterile teoretică şi respectiv, experimetală, generate de turbină, pentru fiecare valoare a vitezei; valoarea rezistenţei şuntului pe care se măsoară tensiunea este $R = 9 \cdot 10^4\ \Omega$.

Fig.13.15. Funcţionarea sistemului de testare

13.4. Rezultate

Valorile vitezelor, ale tensiunii şi ale puterii teoretice şi experimentale se trec în tabelul 13.1. Se trasează, pe acelaşi grafic, curbele de putere teoretică şi experimentală.

Tabelul 13.1

v_t, m/s	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
v_a, m/s															
U, V															
P_{exp}, W															
P_t, W															

13.5. Concluzii

Se identifică concluziile referitoare la variaţia puterii instantanee experimentale în funcţie de viteza aerului şi concluziile referitoare la diferenţele dintre puterile teoretice şi experimentale.

Bibliografie

1. www.gunt.de
2. www.lpelectric.ro
3. * * *. Equipment for Engineering Education. Operating Instructions. HM170 Educational Wind Tunnel. G.U.N.T. Gerätebau GmBH. Barsbüttel, Germany.

Aplicaţia 14

MĂSURAREA FORŢELOR DE ANTRENARE ŞI DE PORTANŢĂ CARE ACŢIONEAZĂ ASUPRA UNUI ELEMENT AERODINAMIC

14.1. Obiectivul aplicaţiei

Asupra elementelor aerodinamice aflate într-un flux de curgere a unui fluid acţionează două tipuri forţe care influenţează dinamica elementului: forţa de antrenare (*drag*) F_W şi forţa de portanţă (*lift*) F_A; forţa de antrenare pune în mişcare elementul, iar forţa de portanţă îl menţine ridicat în fluxul de curgere a fluidului (fig.14.1).

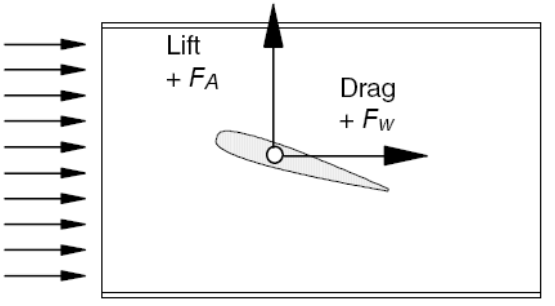


Fig.14.1 [4]

14.2. Echipamente

Tunelul aerodinamic [2] utilizat pentru generarea vântului (fig.14.2) este unul subsonic (viteza aerului ajunge până la 0,1 Mach), cu circuit deschis (aerul este preluat din exterior şi expulzat tot în exterior, cu viteză mărită).

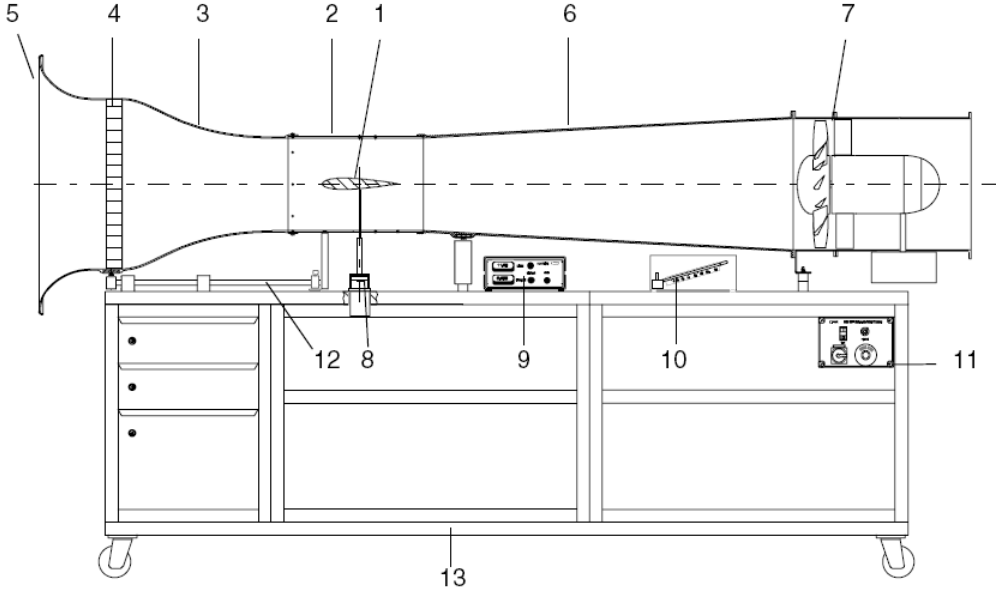
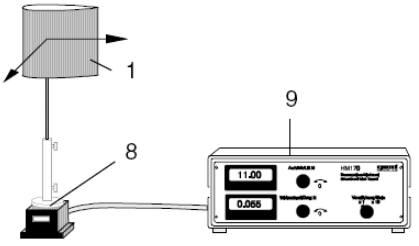


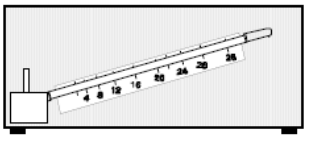
Fig.14.2. Tunelul aerodinamic [2]

Modelul experimental *1* este fixat în secţiunea de măsurări *2*. Aerul este absorbit în tunel prin pâlnia de alimentare *5* iar curgerea laminară este asigurată prin secţiunea *4* (eventualele componente transversale ale circulaţiei aerului sunt reduse la zero). Curgerea laminară a

aerului este accelerată de aproximativ 3,3 ori în secţiunea *3*; zona *6* a tunelului realizează decelerarea vitezei aerului care este exhaustat în exterior prin ventilatorul *7*.

Măsurarea forţelor se relizează prin intermediul traductorului de forţă *8*, care este solidar cu modelul experimental *1* (fig.14.3). Prin acest traductor, în interiorul tunelului se pot realiza măsurători (după 2 direcţii – antrenare şi portanţă) referitoare la: forţe, viteze, presiuni, coeficientul aerodinamic de antrenare (*drag*) şi de portanţă (*lift*). Valorile măsurate pentru forţe se pot vizualiza pe ecranul amplificatorului *9* (v. fig.14.3).





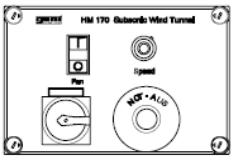


Fig.14.3. Sistemul de măsurare Fig.14.4. Tubul manometric Fig.14.5. Panoul de comandă

Viteza aerului în secţiunea de măsurări *2* se poate citi la tubul manometru înclinat *10* (fig.14.4). Panoul de comandă *11* (fig.14.5) conţine un comutator principal ON/OFF de alimentare cu energie electrică, un buton de oprire de urgenţă, un buton de reglare a vitezei aerului (convertor în frecvenţă) şi un comutator ON/OFF al ventilatorului.

Şina *12* permite translatarea peretelui lateral al secţiunii de măsurări şi accesul la interiorul secţiunii Sistemul este amplasat pe batiul *13* prevăzut cu role.

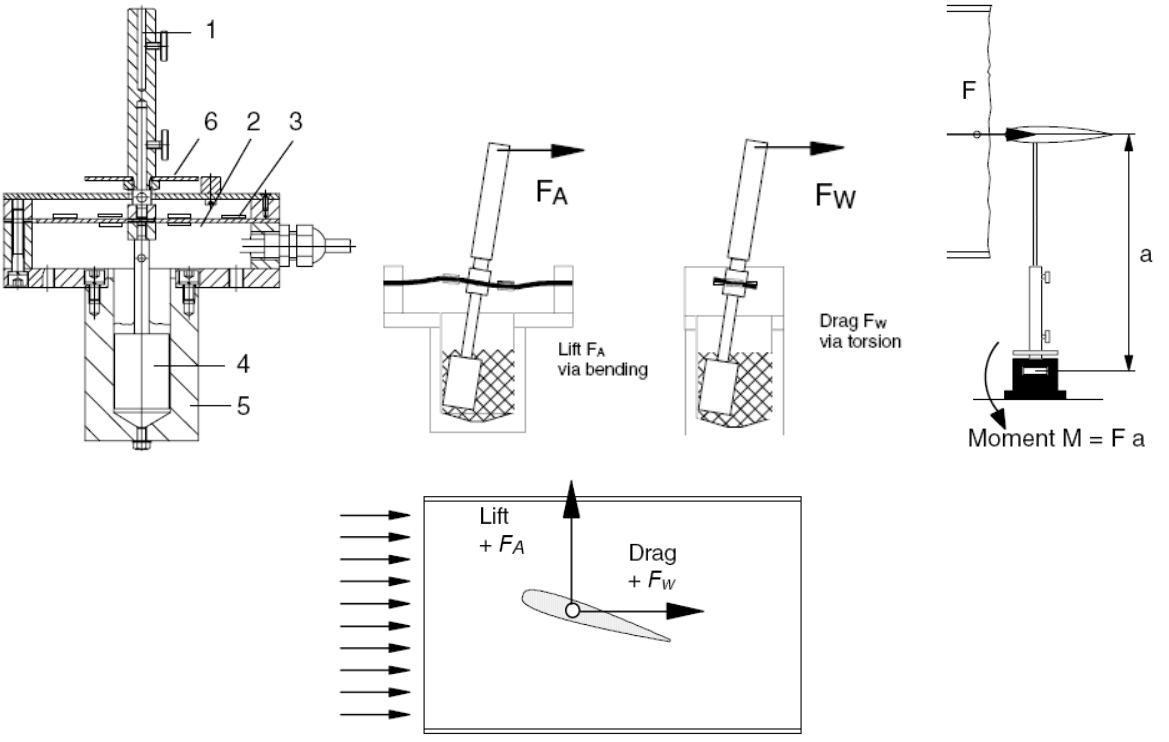


Fig.14.6. Principiul de măsurare a forţelor [4]

Forţele de antrenare (*drag*) F_W şi de portanţă (*lift*) F_A produc, prin intermediul braţului *1* (fig.14.6) care susţine modelul experimental, momente de torsiune şi respectiv, de încovoiere, care deformează grinda *2*; deformaţiile sunt măsurate de către marca tensometrică *3* şi vizualizate la amplificatorul *9* (fig.14.3). Poziţia unghiulară (faţă de fluxul de aer) a modelului experimental este reglată prin intermediul discului gradat *6*. Pentru a evita vibraţiile nedorite, între baza *4* a braţului care susţine modelul experimental şi cavitatea *5*, se interpune vaselină (fig.14.6).

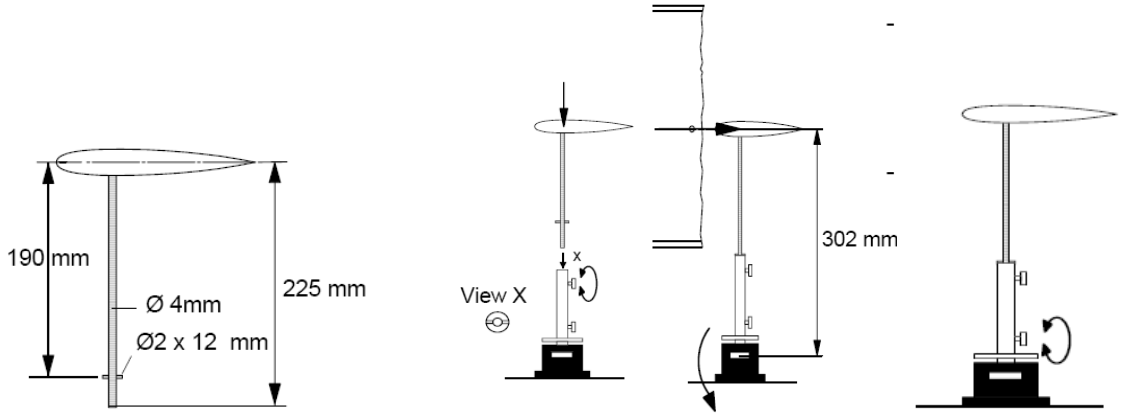


Fig.14.7. Fixarea modelului experimental [4]

Modelul de măsurare se fixează în braţul *1* (v. fig.14.6) prin intermediul unui şurub cu pas fin (fig.14.7).

Fig.14.8. Modelul aerodinamic

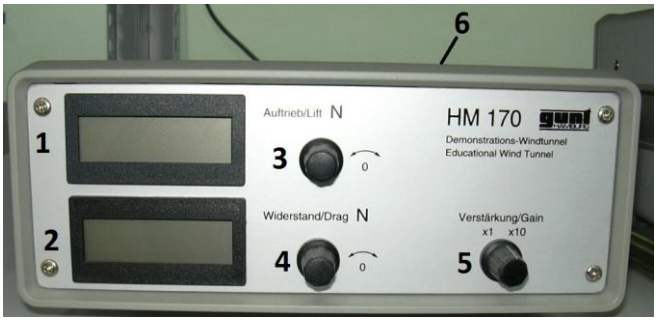


Fig.14.9. Amplificatorul

Modelul aerodinamic utilizat pentru măsurători (fig.14.8) este utilizat pentru determinarea variaţiei forţelor de antrenare (*drag*) F_W şi de portanţă (*lift*) F_A în funcţie de creşterea vitezei aerului; mărimile măsurate se pot vizualiza pe ecranul amplificatorului (fig.14.9) sau pot fi achiziţionate la calculator (fig.14.10).

Amplificatorul (v. fig.14.10) [2] conţine două punţi de amplificare cu rezistenţă variabilă care preiau semnalul de la traductoarele de forţă. Valorile măsurate ale forţelor, exprimate in N, sunt afişate pe ecranul *1* pentru forţa de portanţă (*lift*) şi pe ecranul *2* pentru forţa de antrenare (*drag*). Calibrarea la 0 se realizează prin potenţiometrul *3* şi, respectiv, *4*. Factorul

de amplificare poate fi setat la valoarea 1 sau 10 prin comutatorul *5*. Comutatorul ON/OFF *6* este situat pe partea din spate a amplificatorului. Amplificatorul se porneşte cu 30 min. înainte de operaţia de calibrare.

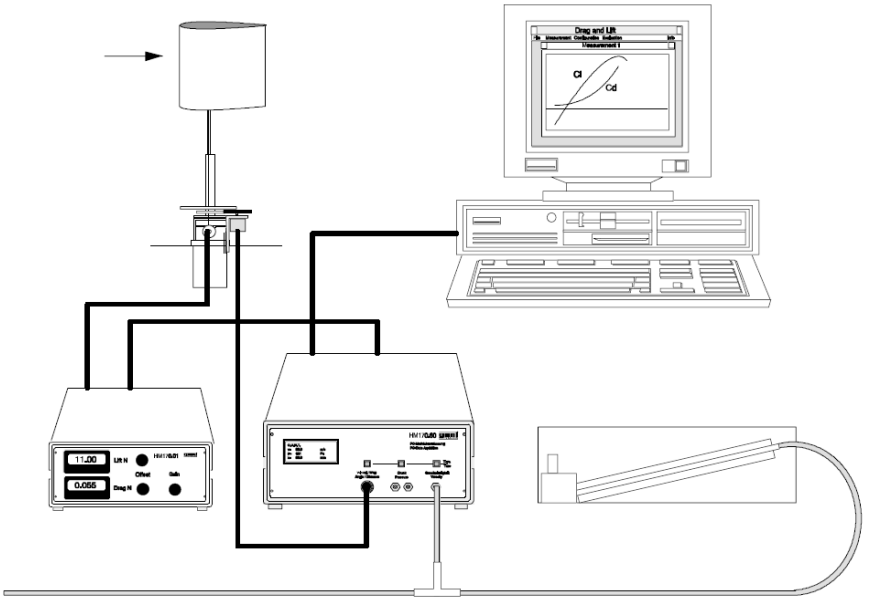
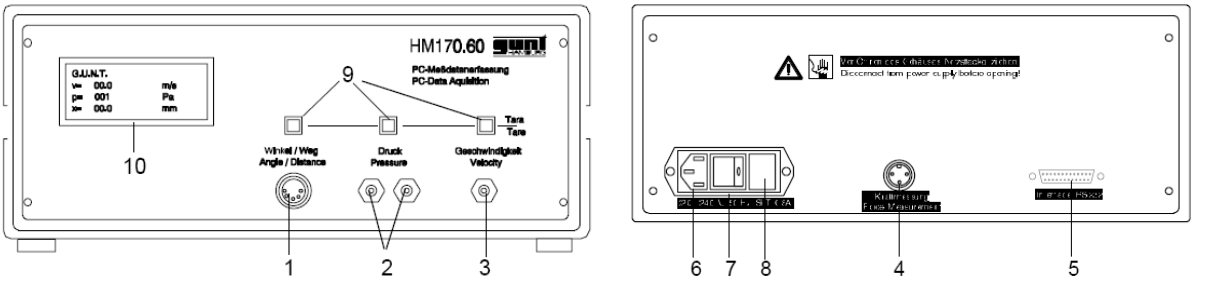


Fig.14.10. Sistemul de achiziţie [3, 4, 5]



Vedere faţă **Vedere spate**

Fig.14.11. Dispozitivul de achiziţie [3, 4, 5]

Dispozitivul utilizat pentru achiziţia datelor este prezentat în fig.14.11 [3, 4, 5]. Pe faţa frontală a dispozitivului de achiziţie se situează conectorul pentru achiziţia măsurătorilor distanţelor sau a unghiurilor *1*, conectorii 2 pentru achiziţia diferenţelor de presiune şi conectorul *3* pentru achiziţia vitezelor. Conectorul *4* pentru achiziţia valorilor măsurate ale forţelor se află pe suprafaţa din spate a dispozitivului. Conexiunea RS232 *5* realizează legătura la caclulator. Alimentarea cu tensiune se realizează prin conexiunea *6*; comutatorul ON/OFF este reprezentat de elementul *7*. Elementul *8* conţine siguranţele fuzibile; calibrarea se realizează din butoanele *9*. Display-ul *10* afişează datele achiziţionate referitoare la viteză, diferenţa de presiune şi distanţă/unghi.

Pentru achiziţia şi vizualizarea datelor măsurate se utilizează un soft specific [3, 4, 5] care rulează doar când dispozitivul de achiziţie este pornit şi conectat la calculator. Meniul principal al softului este prezentat în fig.14.12. Prin *1* se poate seta culoarea fondului pe care este afişat graficul iar prin *2* se setează culoarea curbei. Prin butonul *3* se începe salvarea datelor achiziţionate, iar prin butonul *4* se stopează salvarea datelor. Domeniul de valori al axelor se poate seta prin click-stânga în zona *5* a axelor. Poziţia cursorului se poate muta spre stânga *6* sau spre dreapta *7*. Selectarea datelor salvate se realizează prin butonul *8*.

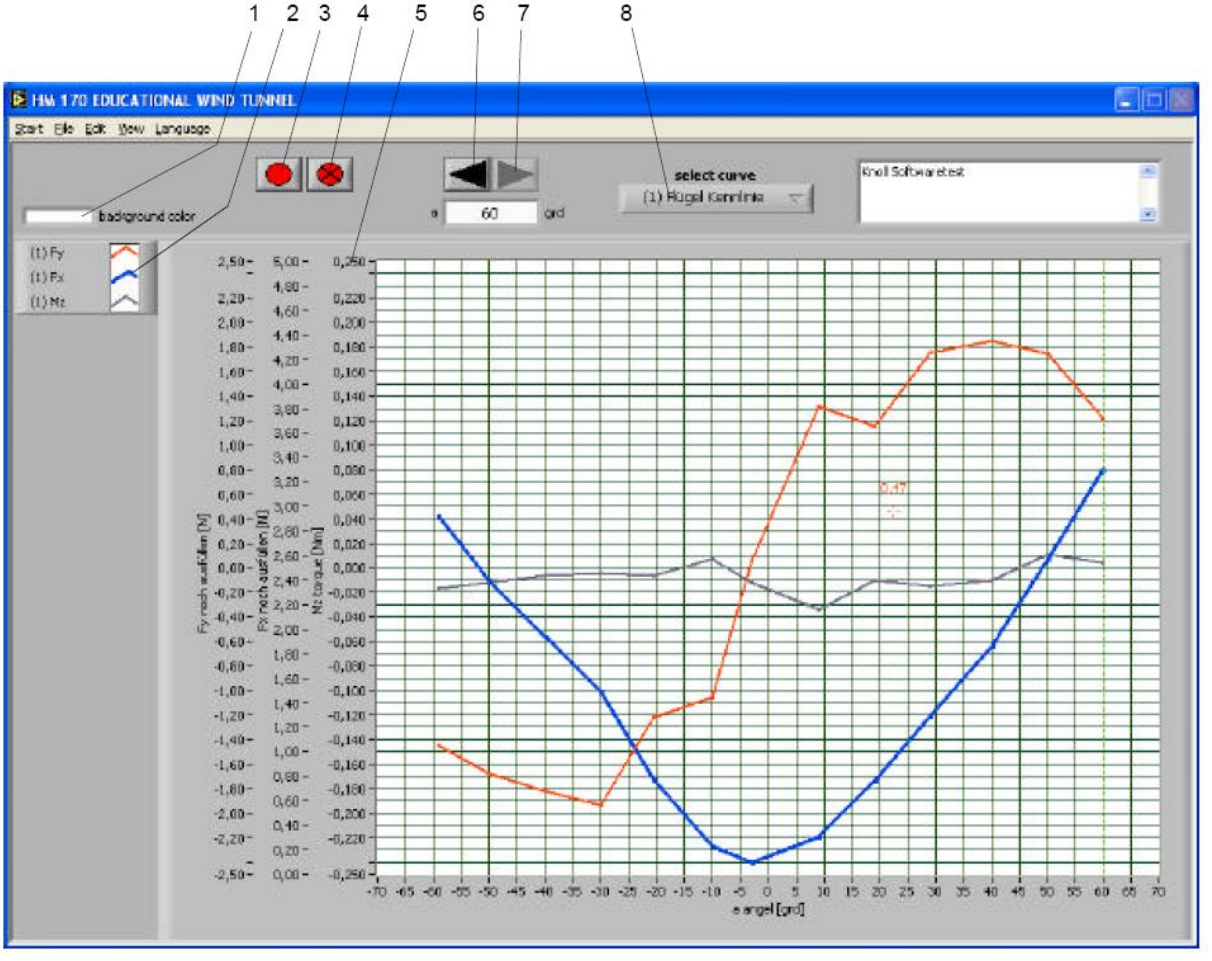


Fig.14.12. Meniul principal al soft-ului de achiziţie [3, 4, 5]

În meniul *Start* se poate deschide fereastra de afişare a diagramelor prin *Measurement Diagram*, se pot obţine informaţii generale despre firma producătoare ***GUNT*** a standului prin *About GUNT*, sau se poate abandona programul prin *Exit*.

În meniul *File* se poate crea prin comanda *New Curve* un nou fişier în care să se salveze datele achiziţionate, se poate încărca un fişier existent prin *Load Curve*, se poate salva un fişier de date prin *Save Curve*, se poate tipări un grafic prin *Print Curve*, se poate şterge curba selectată prin butonul *8* utilizând *Delete Curve*, se pot salva toate graficele generate prin *Save All Curves*, sau se pot şterge toate graficele prin *Delete All Curves*.

În meniul *Edit* prin *Take Measuring Point* se adaugă măsurătorile curente la datele achiziţionate care pot fi salvate ulterior într-un fişier. *Delete Measuring Point* realizează ştergerea măsurătorilor (selectarea acesora se realizează porin butoanele *6* sau *7*).

În meniul *View* se setează valorile afişate pe axele *x* şi *y* (viteză, presiune, unghi, distanţă, forţă de portanţă, forţă de antrenare, moment) prin comanda *Choose Axis*.

În meniul *Language* se setează limba de afişare a meniului (germană, engleză, franceză, spaniolă).

14.3. Testări

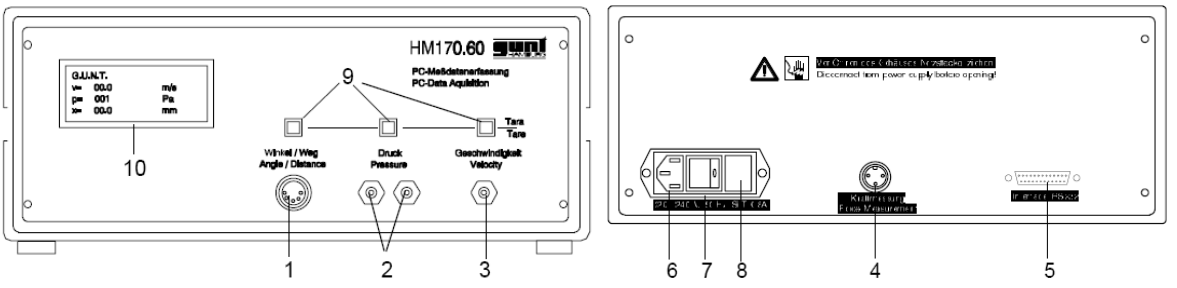
Pentru realizarea testărilor se realizează sistemul de testare conform schemei din figura 14.10 ţinând seama de următoarele aspecte (fig.14.13):

Fig.14.13. Sistemul de testare

Fig.14.14. Panoul de comandă

Fig.14.15. Amplificatorul

- pe panoul de comandă *11* (fig.14.5) butonul *2* de alimentare cu energie electrică este poziţionat pe ON (fig.14.14);
- comutatorul ventilatorului *3* este poziţionat pe ON (v. fig.14.3);
- se porneşte amplificatorul prin comutarea ON a butonului *6* (fig.14.15) şi se aşteaptă 30 min;
- prin potenţiometrul *3* şi, respectiv, *4* se realizează calibrarea la 0; factorul de amplificare se setează la valoarea 1 prin comutatorul *5* (fig.14.15);
- utilizând butonul de reglare a vitezei aerului *4*, se reglează viteza aerului în interiorul tunelului, la o viteză de 1 m/s;



Vedere faţă **Vedere spate**

Fig.14.16. Dispozitivul de achiziţie [3, 4, 5]

- se porneşte sistemul de achiziţie prin poziţionarea comutatorului *7* pe ON (fig.14.16);
- din butoanele *9* se realizează calibrarea dispozitivului;
- se rulează soft-ul de achiziţie HM 170 Educational Wind Tunnel;
- în meniul *Start* se poate deschide fereastra de afişare a diagramelor prin *Measurement Diagram*;
- în meniul *File*, prin comanda *New Curve* se creează un nou fişier în care se salvează datele achiziţionate;

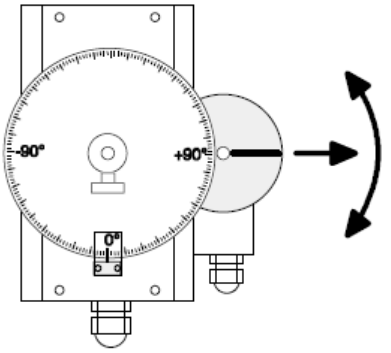


Fig.14.17. Discul gradat [3, 4]

- în meniul *View* se setează valorile afişate pe axele *x* şi *y* (viteză, presiune, unghi, distanţă, forţă de portanţă, forţă de antrenare, moment) prin comanda *Choose Axis*;
- prin butonul *3* (v. fig.14.12) se începe salvarea datelor achiziţionate;
- utilizând butonul de reglare a vitezei aerului *4* (fig.14.14), se reglează viteza aerului în interiorul tunelului (reglarea valorilor se realizează prin citirea acestora la manometrul înclinat *10* – fig.14.2); în caz de urgenţă se poate utiliza butonul *1* de oprire automată a sistemului v. fig.14.14);
- după atingerea vitezei de 28 m/s se opreştea chiziţia datelor prin butonul 4 (fig.14.12);
- se salvează diagrama utilizând comanda *Save Curve* din meniul *File*;

- se realizează măsurătorile pentru unghiurile de atac ale modelului reglate la 0^o, 15^o, 30^o, 45^o, 60^o (poziţia unghiulară - faţă de fluxul de aer - a modelului experimental este reglată prin intermediul discului gradat *6* – v. fig.14.6, fig.14.17).

14.4. Rezultate

Diagramele de variaţie ale forţelor de antrenare şi de portanţă se salvează îm fişiere separate, pentru fiecare unghi de atac.

14.5. Concluzii

Se identifică concluziile referitoare la variaţia forţelor de antrenare şi de portanţă în funcţie de viteza aerului şi de unghiul de atac.

Bibliografie

1. www.gunt.de
2. * * *. Equipment for Engineering Education. Operating Instructions. HM170 Educational Wind Tunnel. G.U.N.T. Gerätebau GmBH. Barsbüttel, Germany.
3. * * *. Equipment for Engineering Education. Operating Instructions. HM170.60 PC Data Acquisition System. G.U.N.T. Gerätebau GmBH. Barsbüttel, Germany.
4. * * *. Equipment for Engineering Education. Operating Instructions. HM170.08 Drag Model “Streamlined Shape”. G.U.N.T. Gerätebau GmBH. Barsbüttel, Germany.
5. * * *. Equipment for Engineering Education. Operating Instructions. HM280.03 Software PCI - LabView. G.U.N.T. Gerätebau GmBH. Barsbüttel, Germany.

Aplicaţia 15

MĂSURAREA FORŢELOR DE ANTRENARE ŞI DE PORTANŢĂ CARE ACŢIONEAZĂ ASUPRA SECŢIUNII TRANSVERSALE A UNEI PALE

15.1. Obiectivul aplicaţiei

Asupra elementelor aerodinamice aflate într-un flux de curgere a unui fluid acţionează două tipuri forţe care influenţează dinamica elementului: forţa de antrenare (*drag*) F_W şi forţa de portanţă (*lift*) F_A; forţa de antrenare pune în mişcare elementul, iar forţa de portanţă îl menţine ridicat în fluxul de curgere a fluidului (fig.15.1).

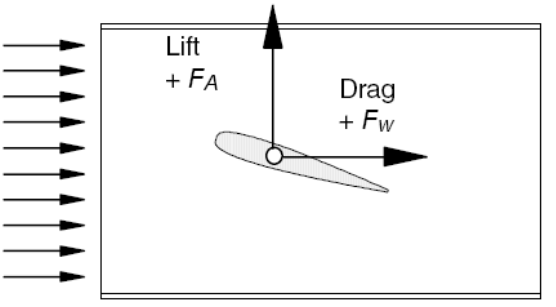


Fig.15.1 [4]

15.2. Echipamente

Tunelul aerodinamic [2] utilizat pentru generarea vântului (fig.15.2) este unul subsonic (viteza aerului ajunge până la 0,1 Mach), cu circuit deschis (aerul este preluat din exterior şi expulzat tot în exterior, cu viteză mărită).

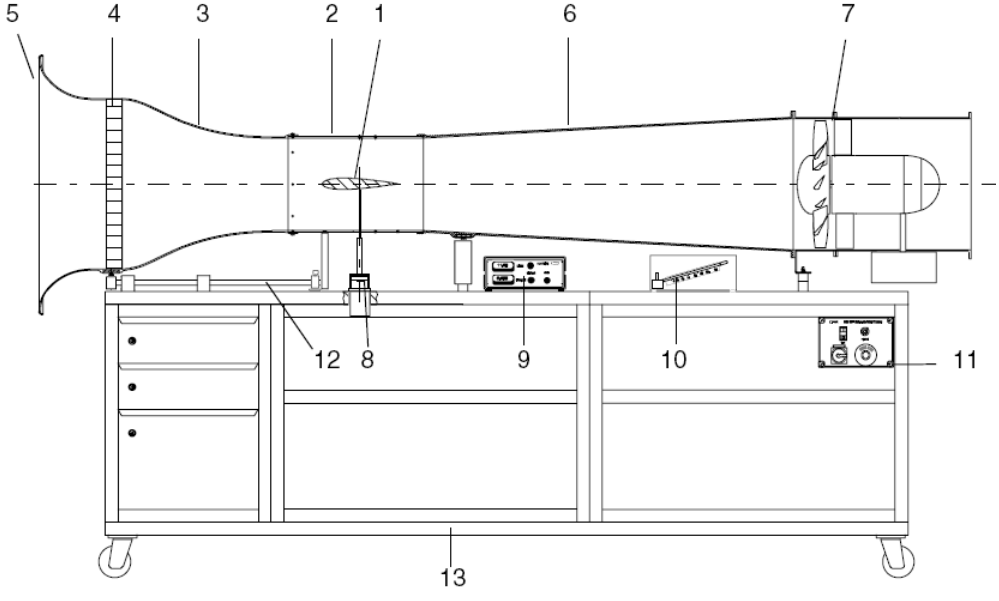


Fig.15.2. Tunelul aerodinamic [2]

Modelul experimental *1* este fixat în secţiunea de măsurări *2*. Aerul este absorbit în tunel prin pâlnia de alimentare *5* iar curgerea laminară este asigurată prin secţiunea *4* (eventualele componente transversale ale circulaţiei aerului sunt reduse la zero). Curgerea laminară a

aerului este accelerată de aproximativ 3,3 ori în secţiunea *3*; zona *6* a tunelului realizează decelerarea vitezei aerului care este exhaustat în exterior prin ventilatorul *7*.

Măsurarea forţelor se relizează prin intermediul traductorului de forţă *8*, care este solidar cu modelul experimental *1* (fig.15.3). Prin acest traductor, în interiorul tunelului se pot realiza măsurători (după 2 direcţii – antrenare şi portanţă) referitoare la: forţe, viteze, presiuni, coeficientul aerodinamic de antrenare (*drag*) şi de portanţă (*lift*). Valorile măsurate pentru forţe se pot vizualiza pe ecranul amplificatorului *9* (v. fig.15.3).

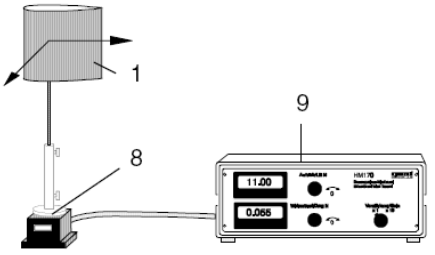


Fig.15.3. Sistemul de măsurare

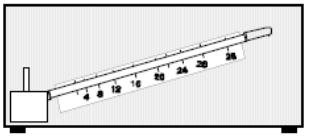


Fig.15.4. Tubul manometric

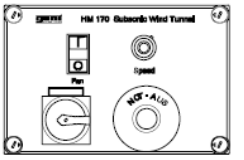


Fig.15.5. Panoul de comandă

Viteza aerului în secţiunea de măsurări *2* se poate citi la tubul manometru înclinat *10* (fig.15.4). Panoul de comandă *11* (fig.15.5) conţine un comutator principal ON/OFF de alimentare cu energie electrică, un buton de oprire de urgenţă, un buton de reglare a vitezei aerului (convertor în frecvenţă) şi un comutator ON/OFF al ventilatorului.

Şina *12* permite translatarea peretelui lateral al secţiunii de măsurări şi accesul la interiorul secţiunii. Sistemul este amplasat pe batiul *13* prevăzut cu role.

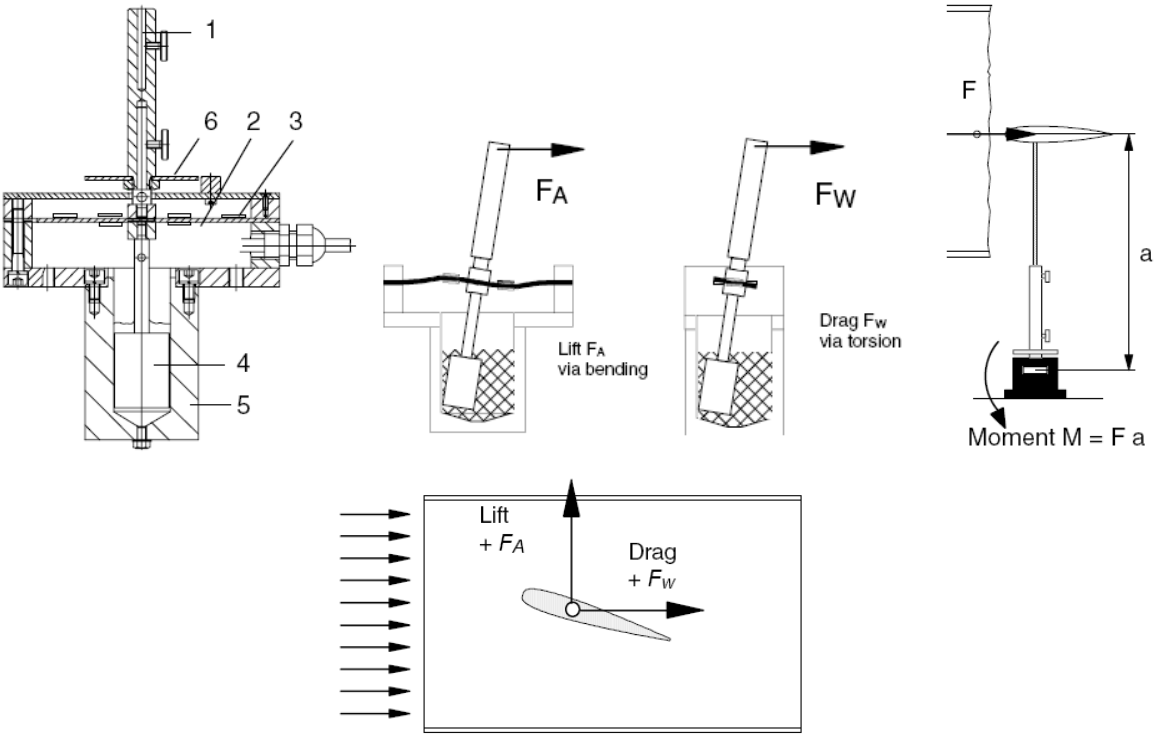


Fig.15.6. Principiul de măsurare a forţelor [4]

Forţele de antrenare (*drag*) F_W şi de portanţă (*lift*) F_A produc, prin intermediul braţului *1* (fig.15.6) care susţine modelul experimental, momente de torsiune şi respectiv, de încovoiere, care deformează grinda *2*; deformaţiile sunt măsurate de către marca tensometrică *3* şi vizualizate la amplificatorul *9* (fig.15.3). Poziţia unghiulară (faţă de fluxul de aer) a modelului experimental este reglată prin intermediul discului gradat *6*. Pentru a evita vibraţiile nedorite, între baza *4* a braţului care susţine modelul experimental şi cavitatea *5*, se interpune vaselină (fig.15.6).

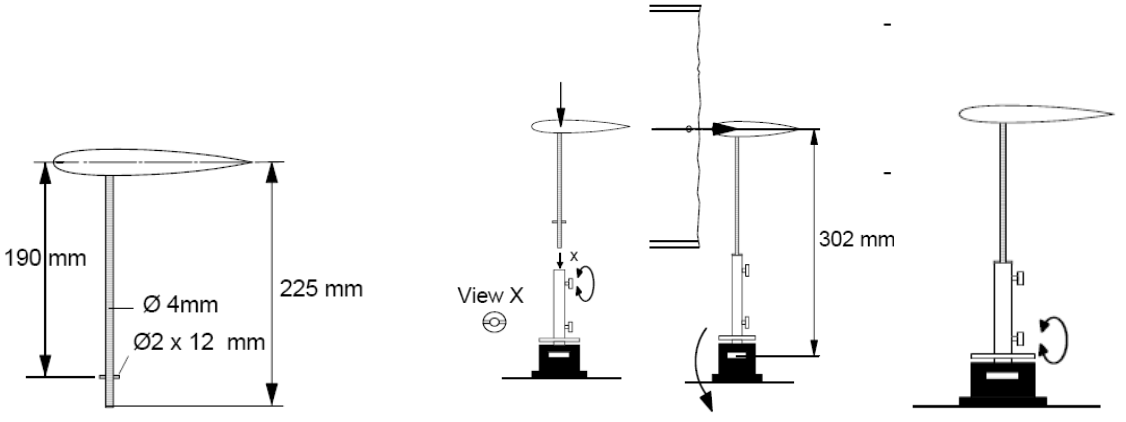


Fig.15.7. Fixarea modelului experimental [4]

Modelul de măsurare se fixează în braţul *1* (v. fig.15.6) prin intermediul unui şurub cu pas fin (fig.15.7).

Fig.15.8. Modelul aerodinamic

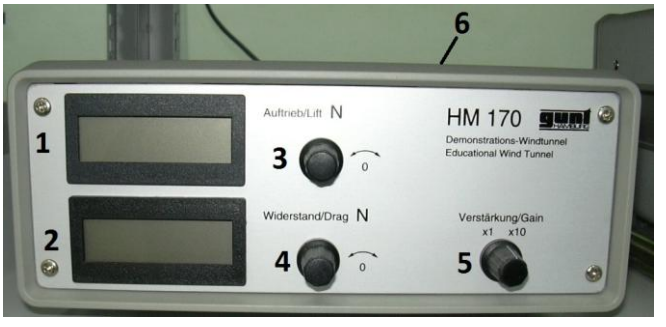


Fig.15.9. Amplificatorul

Modelul aerodinamic (secţiunea transversală a unei pale) utilizat pentru măsurători (fig.15.8) este utilizat pentru determinarea variaţiei forţelor de antrenare (*drag*) F_W şi de portanţă (*lift*) F_A în funcţie de creşterea vitezei aerului; mărimile măsurate se pot vizualiza pe ecranul amplificatorului (fig.15.9) sau pot fi achiziţionate la calculator (fig.15.10).

Amplificatorul (v. fig.15.10) [2] conţine două punţi de amplificare cu rezistenţă variabilă care preiau semnalul de la traductoarele de forţă. Valorile măsurate ale forţelor, exprimate in N, sunt afişate pe ecranul *1* pentru forţa de portanţă (*lift*) şi pe ecranul *2* pentru forţa de antrenare (*drag*). Calibrarea la 0 se realizează prin potenţiometrul *3* şi, respectiv, *4*. Factorul

de amplificare poate fi setat la valoarea 1 sau 10 prin comutatorul *5*. Comutatorul ON/OFF *6* este situat pe partea din spate a amplificatorului. Amplificatorul se porneşte cu 30 min. înainte de operaţia de calibrare.

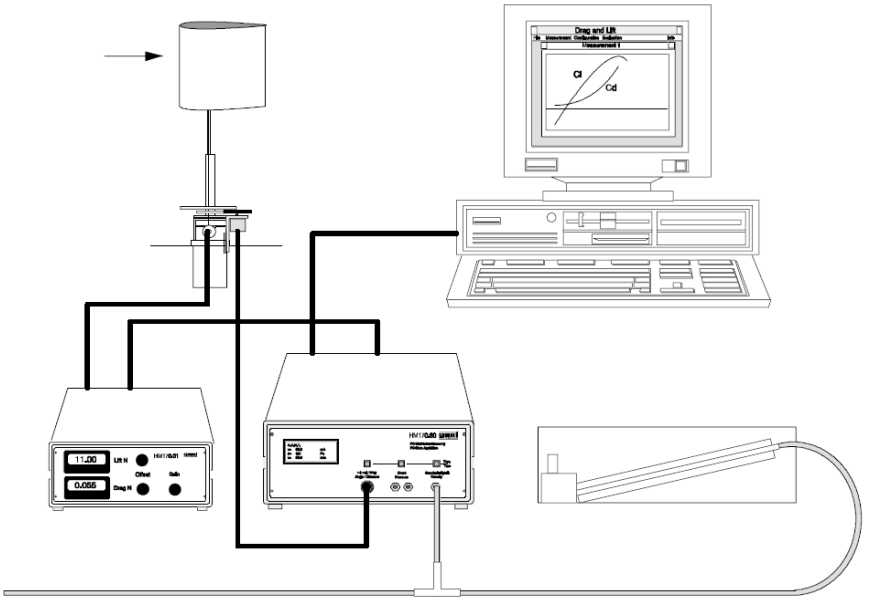
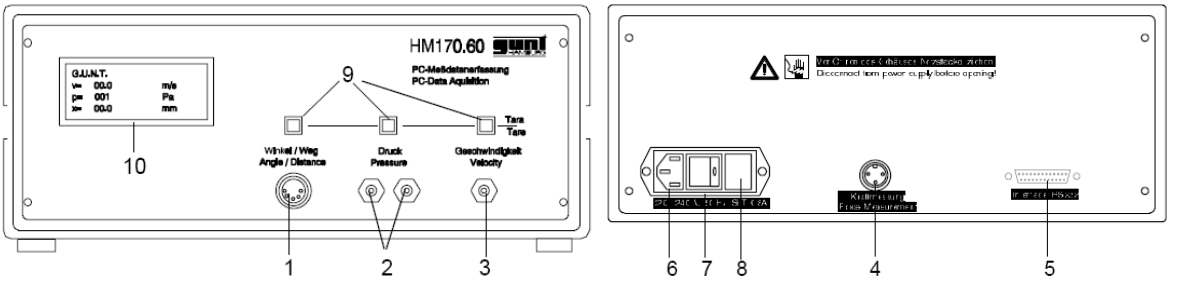


Fig.15.10. Sistemul de achiziţie [3, 4, 5]



Vedere faţă **Vedere spate**

Fig.15.11. Dispozitivul de achiziţie [3, 4, 5]

Dispozitivul utilizat pentru achiziţia datelor (fig.15.11) [3, 4, 5]. Pe faţa frontală a dispozitivului de achiziţie se situează conectorul pentru achiziţia măsurătorilor distanţelor sau a unghiurilor *1*, conectorii 2 pentru achiziţia diferenţelor de presiune şi conectorul *3* pentru achiziţia vitezelor. Conectorul *4* pentru achiziţia valorilor măsurate ale forţelor se află pe suprafaţa din spate a dispozitivului. Conexiunea RS232 *5* realizează legătura la caclulator. Alimentarea cu tensiune se realizează prin conexiunea *6*; comutatorul ON/OFF este reprezentat de elementul *7*. Elementul *8* conţine siguranţele fuzibile; calibrarea se realizează din butoanele *9*. Display-ul *10* afişează datele achiziţionate referitoare la viteză, diferenţa de presiune şi distanţă/unghi.

Pentru achiziţia şi vizualizarea datelor măsurate se utilizează un soft specific care rulează doar când dispozitivul de achiziţie este pornit şi conectat la calculator [3, 4, 5]. Meniul principal al softului este prezentat în fig.15.12. Prin *1* se poate seta culoarea fondului pe care este afişat graficul iar prin *2* se setează culoarea curbei. Prin butonul *3* se începe salvarea datelor achiziţionate, iar prin butonul *4* se stopează salvarea datelor. Domeniul de valori al axelor se poate seta prin click-stânga în zona *5* a axelor. Poziţia cursorului se poate muta spre stânga *6* sau spre dreapta *7*. Selectarea datelor salvate se realizează prin butonul *8*.

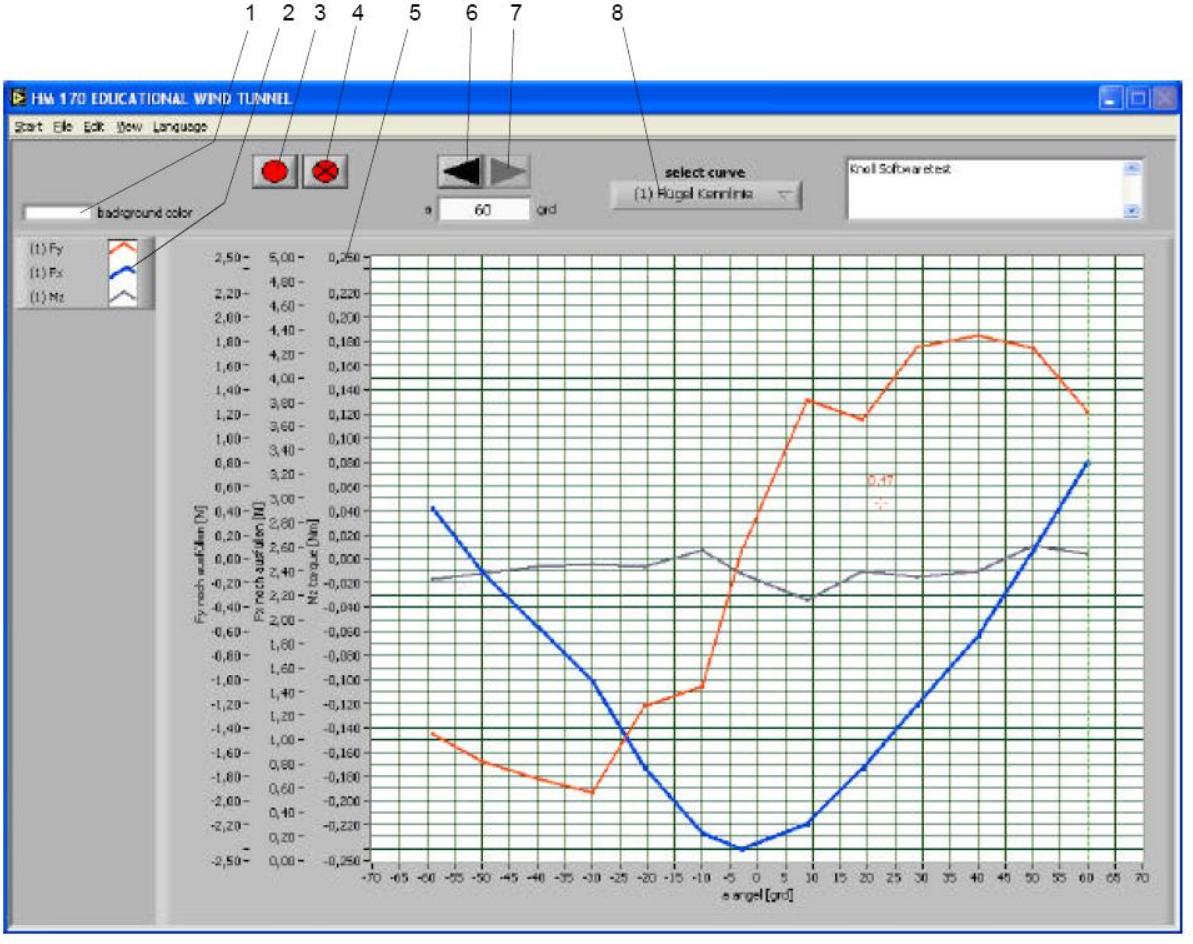


Fig.15.12. Meniul principal al soft-ului de achiziţie [3, 4, 5]

În meniul *Start* se poate deschide fereastra de afişare a diagramelor prin *Measurement Diagram*, se pot obţine informaţii generale despre firma producătoare ***GUNT*** a standului prin *About GUNT*, sau se poate abandona programul prin *Exit*.

În meniul *File* se poate crea prin comanda *New Curve* un nou fişier în care să se salveze datele achiziţionate, se poate încărca un fişier existent prin *Load Curve*, se poate salva un fişier de date prin *Save Curve*, se poate tipări un grafic prin *Print Curve*, se poate şterge curba selectată prin butonul *8* utilizând *Delete Curve*, se pot salva toate graficele generate prin *Save All Curves*, sau se pot şterge toate graficele prin *Delete All Curves*.

În meniul *Edit* prin *Take Measuring Point* se adaugă măsurătorile curente la datele achiziţionate care pot fi salvate ulterior într-un fişier. *Delete Measuring Point* realizează ştergerea măsurătorilor (selectarea acesora se realizează porin butoanele *6* sau *7*).

În meniul *View* se setează valorile afişate pe axele *x* şi *y* (viteză, presiune, unghi, distanţă, forţă de portanţă, forţă de antrenare, moment) prin comanda *Choose Axis*.

În meniul *Language* se setează limba de afişare a meniului (germană, engleză, franceză, spaniolă).

15.3. Testări

Pentru realizarea testărilor se realizează sistemul de testare conform schemei din figura 15.10 ţinând seama de următoarele aspecte (fig.15.13):

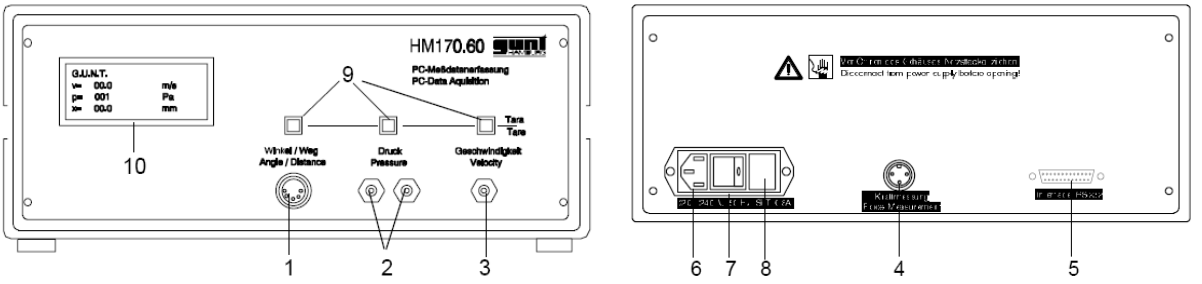
Fig.15.13. Sistemul de testare

Fig.15.14. Panoul de comandă

Fig.15.15. Amplificatorul

- pe panoul de comandă *11* (fig.15.5) butonul *2* de alimentare cu energie electrică este poziţionat pe ON (fig.15.14);
- comutatorul ventilatorului *3* este poziţionat pe ON (v. fig.15.3);
- se porneşte amplificatorul prin comutarea ON a butonului *6* (fig.15.15) şi se aşteaptă 30 min;

- prin potenţiometrul *3* şi, respectiv, *4* se realizează calibrarea la 0; factorul de amplificare se setează la valoarea 1 prin comutatorul *5* (fig.15.15);
- utilizând butonul de reglare a vitezei aerului *4*, se reglează viteza aerului în interiorul tunelului, la o viteză de 1 m/s;



Vedere faţă **Vedere spate**

Fig.15.16. Dispozitivul de achiziţie [3, 4, 5]

- se porneşte sistemul de achiziţie prin poziţionarea comutatorului *7* pe ON (fig.15.16);
- din butoanele *9* se realizează calibrarea dispozitivului;
- se rulează soft-ul de achiziţie HM 170 Educational Wind Tunnel;
- în meniul *Start* se poate deschide fereastra de afişare a diagramelor prin *Measurement Diagram*;
- în meniul *File*, prin comanda *New Curve* se creează un nou fişier în care se salvează datele achiziţionate;
- în meniul *View* se setează valorile afişate pe axele *x* şi *y* (viteză, presiune, unghi, distanţă, forţă de portanţă, forţă de antrenare, moment) prin comanda *Choose Axis*;
- prin butonul *3* (v. fig.15.12) se începe salvarea datelor achiziţionate;
- utilizând butonul de reglare a vitezei aerului *4* (fig.15.14), se reglează viteza aerului în interiorul tunelului (reglarea valorilor se realizează prin citirea acestora la manometrul înclinat *10* – fig.15.2); în caz de urgenţă se poate utiliza butonul *1* de oprire automată a sistemului v. fig.15.14);
- după atingerea vitezei de 28 m/s se opreşteachiziţia datelor prin butonul 4 (fig.15.12);
- se salvează diagrama utilizând comanda *Save Curve* din meniul *File*;

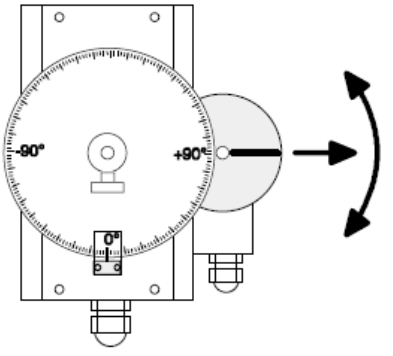


Fig.15.17. Discul gradat [3, 4]

- se realizează măsurătorile pentru unghiurile de atac ale modelului reglate la 0^o, 15^o, 30^o, 45^o, 60^o (poziţia unghiulară - faţă de fluxul de aer - a modelului experimental este reglată prin intermediul discului gradat *6* – v. fig.15.6, fig.15.17).

15.4. Rezultate

Diagramele de variaţie ale forţelor de antrenare şi de portanţă se salvează îm fişiere separate, pentru fiecare unghi de atac.

15.5. Concluzii

Se identifică concluziile referitoare la variaţia forţelor de antrenare şi de portanţă în funcţie de viteza aerului şi de unghiul de atac.

Bibliografie

1. www.gunt.de
2. * * *. Equipment for Engineering Education. Operating Instructions. HM170 Educational Wind Tunnel. G.U.N.T. Gerätebau GmBH. Barsbüttel, Germany.
3. * * *. Equipment for Engineering Education. Operating Instructions. HM170.60 PC Data Acquisition System. G.U.N.T. Gerätebau GmBH. Barsbüttel, Germany.
4. * * *. Equipment for Engineering Education. Operating Instructions. HM170.22 Pressure Wing. G.U.N.T. Gerätebau GmBH. Barsbüttel, Germany.
5. * * *. Equipment for Engineering Education. Operating Instructions. HM280.03 Software PCI - LabView. G.U.N.T. Gerätebau GmBH. Barsbüttel, Germany.

Aplicaţia 16

MĂSURAREA FORŢELOR DE ANTRENARE ŞI DE PORTANŢĂ CARE ACŢIONEAZĂ ASUPRA UNUI ELEMENT AERODINAMIC CILINDRIC

16.1. Obiectivul aplicaţiei

Asupra elementelor aerodinamice aflate într-un flux de curgere a unui fluid acţionează două tipuri forţe care influenţează dinamica elementului: forţa de antrenare (*drag*) F_W şi forţa de portanţă (*lift*) F_A; forţa de antrenare pune în mişcare elementul, iar forţa de portanţă îl menţine ridicat în fluxul de curgere a fluidului (fig.16.1).

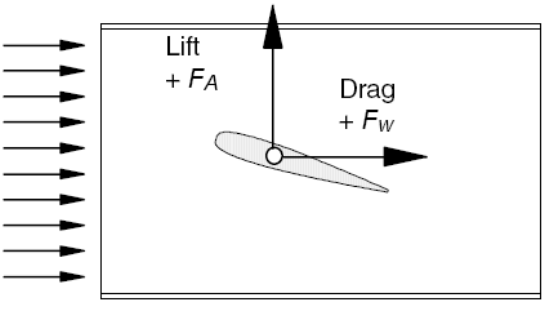


Fig.16.1 [4]

16.2. Echipamente

Tunelul aerodinamic [2] utilizat pentru generarea vântului (fig.16.2) este unul subsonic (viteza aerului ajunge până la 0,1 Mach), cu circuit deschis (aerul este preluat din exterior şi expulzat tot în exterior, cu viteză mărită).

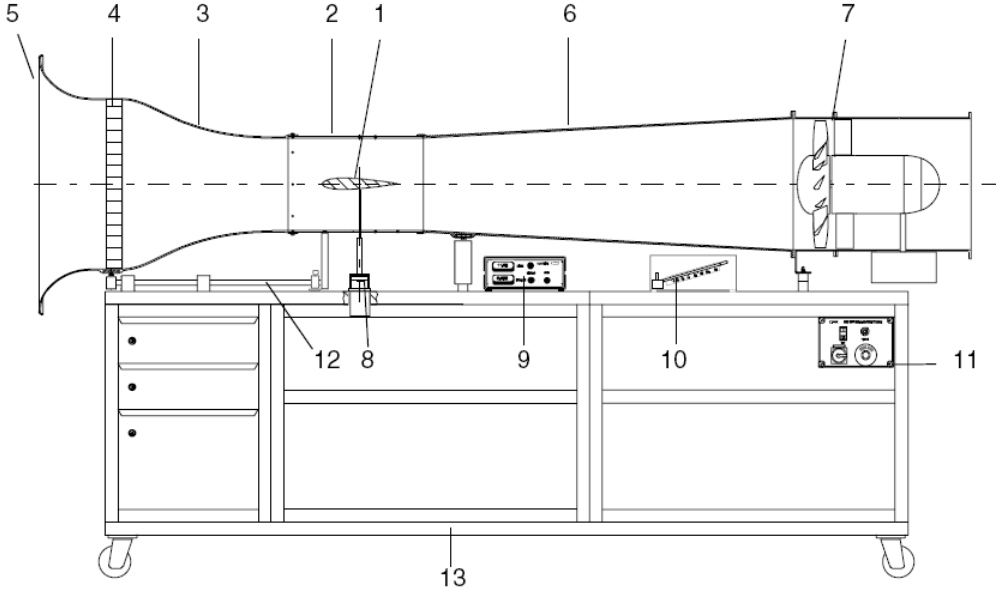


Fig.16.2. Tunelul aerodinamic [2]

Modelul experimental *1* este fixat în secţiunea de măsurări *2*. Aerul este absorbit în tunel prin pâlnia de alimentare *5* iar curgerea laminară este asigurată prin secţiunea *4* (eventualele

componente transversale ale circulaţiei aerului sunt reduse la zero). Curgerea laminară a aerului este accelerată de aproximativ 3,3 ori în secţiunea *3*; zona *6* a tunelului realizează decelerarea vitezei aerului care este exhaustat în exterior prin ventilatorul *7*.

Măsurarea forţelor se relizează prin intermediul traductorului de forţă *8*, care este solidar cu modelul experimental *1* (fig.16.3). Prin acest traductor, în interiorul tunelului se pot realiza măsurători (după 2 direcţii – antrenare şi portanţă) referitoare la: forţe, viteze, presiuni, coeficientul aerodinamic de antrenare (*drag*) şi de portanţă (*lift*). Valorile măsurate pentru forţe se pot vizualiza pe ecranul amplificatorului *9* (v. fig.16.3).

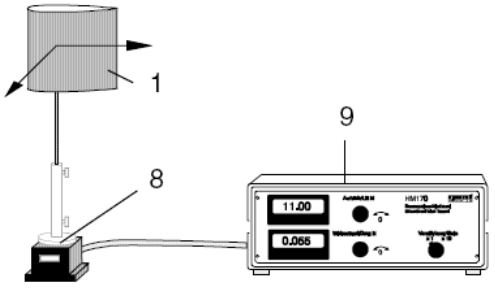


Fig.16.3. Sistemul de măsurare

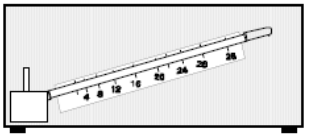


Fig.16.4. Tubul manometric

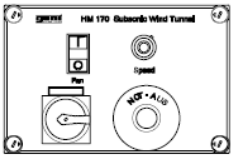


Fig.16.5. Panoul de comandă

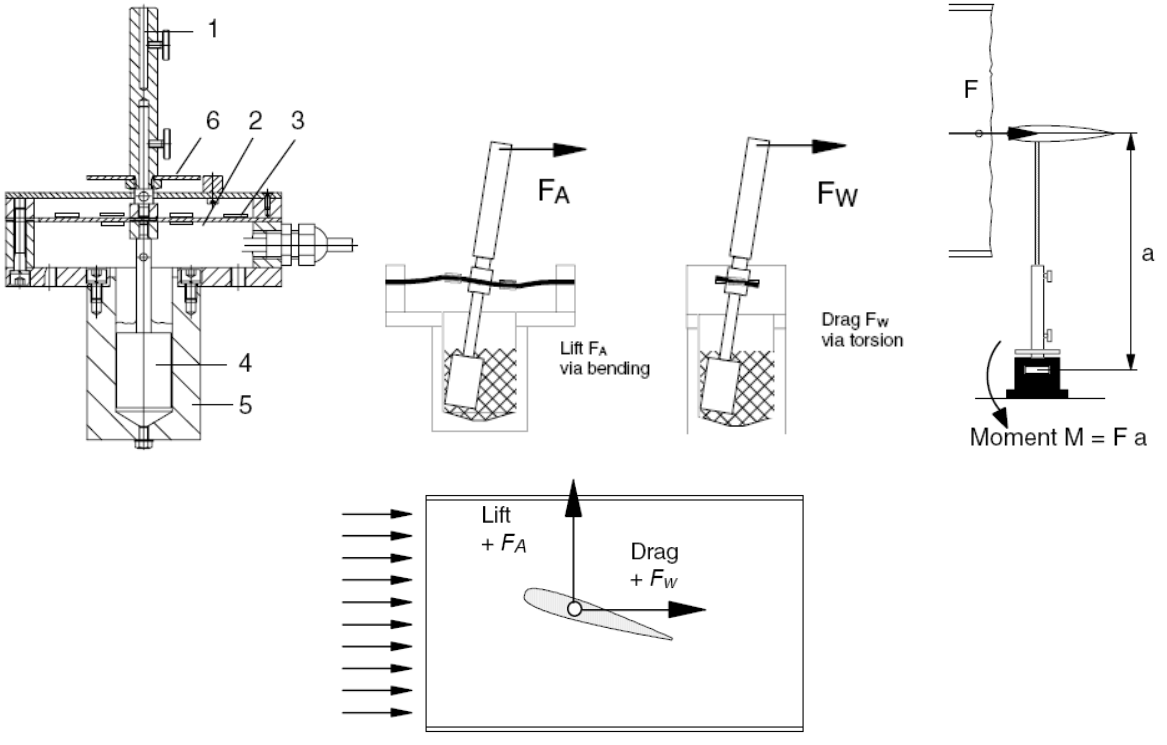


Fig.16.6. Principiul de măsurare a forţelor [4]

Viteza aerului în secţiunea de măsurări *2* se poate citi la tubul manometru înclinat *10* (fig.16.4). Panoul de comandă *11* (fig.16.5) conţine un comutator principal ON/OFF de

alimentare cu energie electrică, un buton de oprire de urgenţă, un buton de reglare a vitezei aerului (convertor în frecvenţă) şi un comutator ON/OFF al ventilatorului.

Şina *12* permite translatarea peretelui lateral al secţiunii de măsurări şi accesul la interiorul secţiunii Sistemul este amplasat pe batiul *13* prevăzut cu role.

Forţele de antrenare (*drag*) F_W şi de portanţă (*lift*) F_A produc, prin intermediul braţului *1* (fig.16.6) care susţine modelul experimental, momente de torsiune şi respectiv, de încovoiere, care deformează grinda *2*; deformaţiile sunt măsurate de către marca tensometrică *3* şi vizualizate la amplificatorul *9* (fig.16.3). Poziţia unghiulară (faţă de fluxul de aer) a modelului experimental este reglată prin intermediul discului gradat *6*. Pentru a evita vibraţiile nedorite, între baza *4* a braţului care susţine modelul experimental şi cavitatea *5*, se interpune vaselină (fig.16.6).

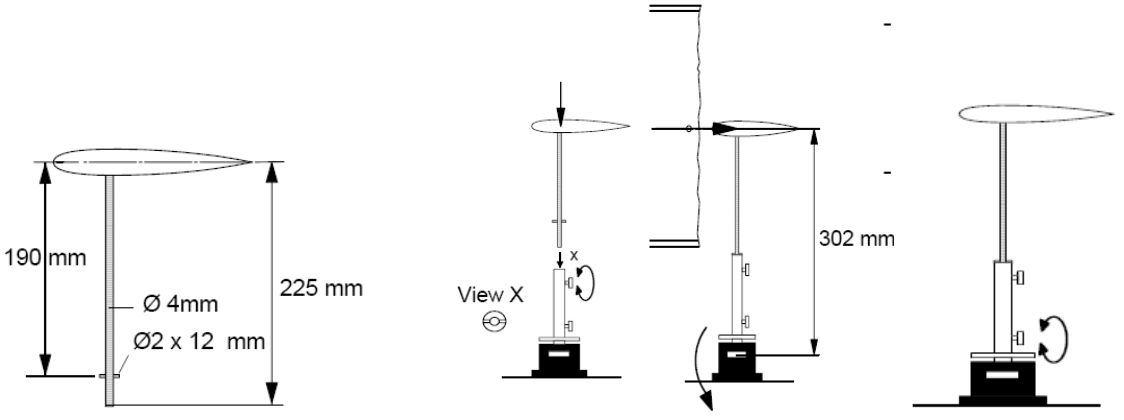


Fig.16.7. Fixarea modelului experimental [4]

Modelul de măsurare se fixează în braţul *1* (v. fig.16.6) prin intermediul unui şurub cu pas fin (fig.16.7).

Fig.16.8. Modelul aerodinamic

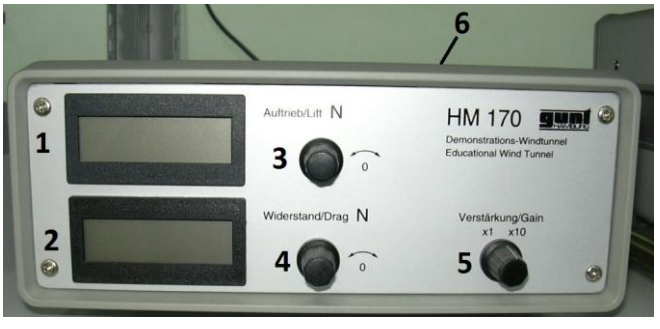


Fig.16.9. Amplificatorul

Modelul aerodinamic (cilindru) utilizat pentru măsurători (fig.16.8) este utilizat pentru determinarea variaţiei forţelor de antrenare (*drag*) F_W şi de portanţă (*lift*) F_A în funcţie de creşterea vitezei aerului; mărimile măsurate se pot vizualiza pe ecranul amplificatorului (fig.16.9) sau pot fi achiziţionate la calculator (fig.16.10).

Amplificatorul (v. fig.16.10) [2] conţine două punţi de amplificare cu rezistenţă variabilă care preiau semnalul de la traductoarele de forţă. Valorile măsurate ale forţelor, exprimate in N, sunt afişate pe ecranul *1* pentru forţa de portanţă (*lift*) şi pe ecranul *2* pentru forţa de antrenare (*drag*). Calibrarea la 0 se realizează prin potenţiometrul *3* şi, respectiv, *4*. Factorul de amplificare poate fi setat la valoarea 1 sau 10 prin comutatorul *5*. Comutatorul ON/OFF *6* este situat pe partea din spate a amplificatorului. Amplificatorul se porneşte cu 30 min. înainte de operaţia de calibrare.

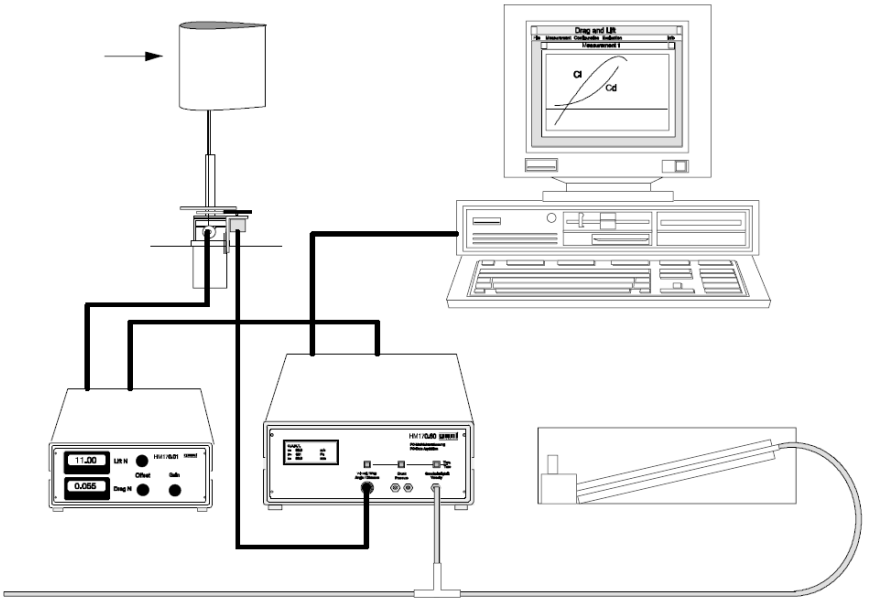
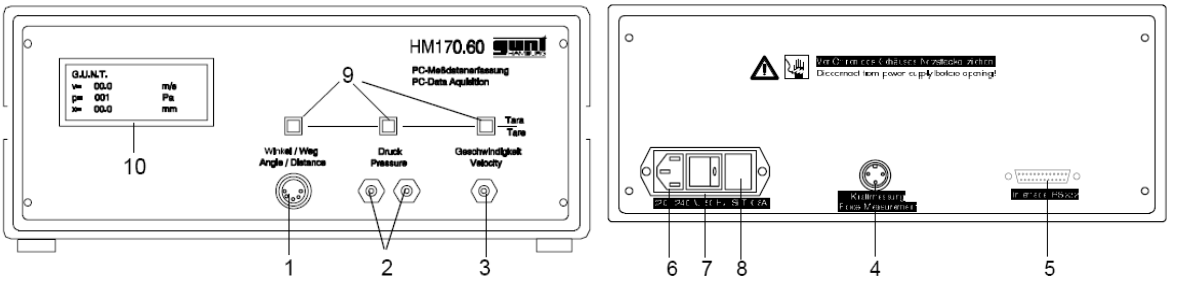


Fig.16.10. Sistemul de achiziţie [3, 4, 5]



Vedere faţă **Vedere spate**

Fig.16.11. Dispozitivul de achiziţie [3, 4, 5]

Dispozitivul utilizat pentru achiziţia datelor este prezentat în fig.16.11 [3, 4, 5]. Pe faţa frontală a dispozitivului de achiziţie se situează conectorul pentru achiziţia măsurătorilor distanţelor sau a unghiurilor *1*, conectorii 2 pentru achiziţia diferenţelor de presiune şi conectorul *3* pentru achiziţia vitezelor. Conectorul *4* pentru achiziţia valorilor măsurate ale forţelor se află pe suprafaţa din spate a dispozitivului. Conexiunea RS232 *5* realizează legătura la caclulator. Alimentarea cu tensiune se realizează prin conexiunea *6*; comutatorul

ON/OFF este reprezentat de elementul *7*. Elementul *8* conţine siguranţele fuzibile; calibrarea se realizează din butoanele *9*. Display-ul *10* afişează datele achiziţionate referitoare la viteză, diferenţa de presiune şi distanţă/unghi.

Pentru achiziţia şi vizualizarea datelor măsurate se utilizează un soft specific [3, 4, 5] care rulează doar când dispozitivul de achiziţie este pornit şi conectat la calculator. Meniul principal al softului este prezentat în fig.16.12. Prin *1* se poate seta culoarea fondului pe care este afişat graficul iar prin *2* se setează culoarea curbei. Prin butonul *3* se începe salvarea datelor achiziţionate, iar prin butonul *4* se stopează salvarea datelor. Domeniul de valori al axelor se poate seta prin click-stânga în zona *5* a axelor. Poziţia cursorului se poate muta spre stânga *6* sau spre dreapta *7*. Selectarea datelor salvate se realizează prin butonul *8*.

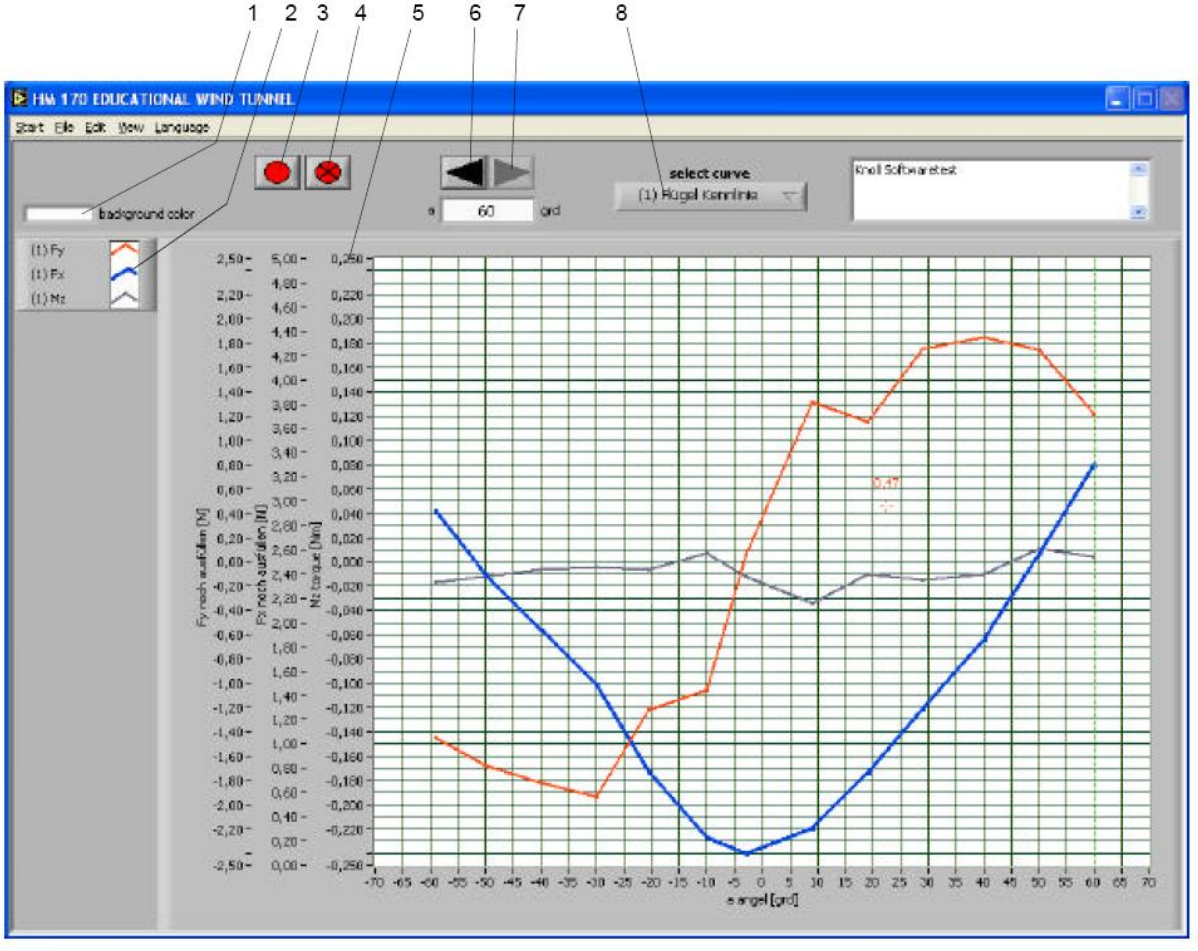


Fig.16.12. Meniul principal al soft-ului de achiziţie [3, 4, 5]

În meniul *Start* se poate deschide fereastra de afişare a diagramelor prin *Measurement Diagram*, se pot obţine informaţii generale despre firma producătoare ***GUNT*** a standului prin *About GUNT*, sau se poate abandona programul prin *Exit*.

În meniul *File* se poate crea prin comanda *New Curve* un nou fişier în care să se salveze datele achiziţionate, se poate încărca un fişier existent prin *Load Curve*, se poate salva un fişier de date prin *Save Curve*, se poate tipări un grafic prin *Print Curve*, se poate şterge curba

selectată prin butonul *8* utilizând *Delete Curve*, se pot salva toate graficele generate prin *Save All Curves*, sau se pot şterge toate graficele prin *Delete All Curves*.

În meniul *Edit* prin *Take Measuring Point* se adaugă măsurătorile curente la datele achiziţionate care pot fi salvate ulterior într-un fişier. *Delete Measuring Point* realizează ştergerea măsurătorilor (selectarea acesora se realizează porin butoanele *6* sau *7*).

În meniul *View* se setează valorile afişate pe axele *x* şi *y* (viteză, presiune, unghi, distanţă, forţă de portanţă, forţă de antrenare, moment) prin comanda *Choose Axis*.

În meniul *Language* se setează limba de afişare a meniului (germană, engleză, franceză, spaniolă).

16.3. Testări

Pentru realizarea testărilor se realizează sistemul de testare conform schemei din figura 16.10 ţinând seama de următoarele aspecte (fig.16.13):

Fig.16.13. Sistemul de testare

Fig.16.14. Panoul de comandă

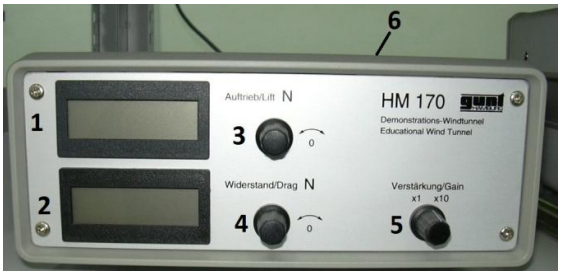
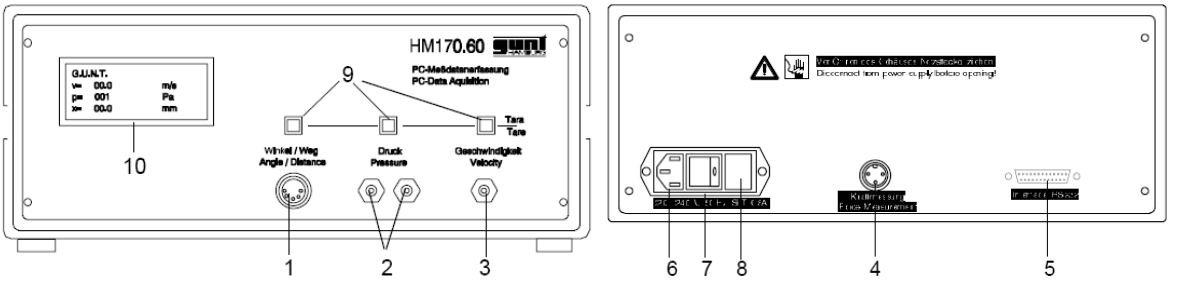


Fig.16.15. Amplificatorul

- pe panoul de comandă *11* (fig.16.5) butonul *2* de alimentare cu energie electrică este poziţionat pe ON (fig.15.14);
- comutatorul ventilatorului *3* este poziţionat pe ON (v. fig.16.3);

- se porneşte amplificatorul prin comutarea ON a butonului *6* (fig.16.15) şi se aşteaptă 30 min;
- prin potenţiometrul *3* şi, respectiv, *4* se realizează calibrarea la 0; factorul de amplificare se setează la valoarea 1 prin comutatorul *5* (fig.16.15);
- utilizând butonul de reglare a vitezei aerului *4*, se reglează viteza aerului în interiorul tunelului, la o viteză de 1 m/s;



Vedere faţă **Vedere spate**

Fig.16.16. Dispozitivul de achiziţie [3, 4, 5]

- se porneşte sistemul de achiziţie prin poziţionarea comutatorului *7* pe ON (fig.16.16);
- din butoanele *9* se realizează calibrarea dispozitivului;
- se rulează soft-ul de achiziţie HM 170 Educational Wind Tunnel;
- în meniul *Start* se poate deschide fereastra de afişare a diagramelor prin *Measurement Diagram*;
- în meniul *File*, prin comanda *New Curve* se creează un nou fişier în care se salvează datele achiziţionate;
- în meniul *View* se setează valorile afişate pe axele *x* şi *y* (viteză, presiune, unghi, distanţă, forţă de portanţă, forţă de antrenare, moment) prin comanda *Choose Axis*;
- prin butonul *3* (v. fig.16.12) se începe salvarea datelor achiziţionate;
- utilizând butonul de reglare a vitezei aerului *4* (fig.16.14), se reglează viteza aerului în interiorul tunelului (reglarea valorilor se realizează prin citirea acestora la manometrul înclinat *10* – fig.16.2); în caz de urgenţă se poate utiliza butonul *1* de oprire automată a sistemului v. fig.16.14);
- după atingerea vitezei de 28 m/s se opreşteachiziţia datelor prin butonul 4 (fig.16.12);
- se salvează diagrama utilizând comanda *Save Curve* din meniul *File*.

16.4. Rezultate

Se salvează diagramele de variaţie ale forţelor de antrenare şi de portanţă.

16.5. Concluzii

Se identifică concluziile referitoare la variaţia forţelor de antrenare şi de portanţă în funcţie de viteza aerului.

Bibliografie

1. www.gunt.de
2. * * *. Equipment for Engineering Education. Operating Instructions. HM170 Educational Wind Tunnel. G.U.N.T. Gerätebau GmBH. Barsbüttel, Germany.
3. * * *. Equipment for Engineering Education. Operating Instructions. HM170.60 PC Data Acquisition System. G.U.N.T. Gerätebau GmBH. Barsbüttel, Germany.
4. * * *. Equipment for Engineering Education. Operating Instructions. HM170.23 Pressure Cylinder. G.U.N.T. Gerätebau GmBH. Barsbüttel, Germany.
5. * * *. Equipment for Engineering Education. Operating Instructions. HM280.03 Software PCI - LabView. G.U.N.T. Gerätebau GmBH. Barsbüttel, Germany.

Aplicaţia 17

STUDIUL DISTRIBUŢIEI PRESIUNII PE SUPRAFAŢA UNUI ELEMENT AERODINAMIC CILINDRIC

17.1. Obiectivul aplicaţiei

Studiul distribuţiei presiunii pe suprafeţele elementelor aerodinamice are o importanţă semnificativă în vederea identificării comportării aerodinamice a acestora, cu aplicaţie directă în domeniul turbinelor eoliene (în cazul elementelor cilindrice aplicaţia o reprezintă turbina *Darrieus*). În cazul neglijării fenomenului de frecare între straturile unui fluid, curgerea acestuia are un caracter laminar (curgere în straturi paralele) sau turbulent (straturile de curgere nu sunt paralele) în anumite zone ale elementelor aerodinamice situate pe direcţia de curgere a fluidului, fapt ce influenţează distribuţia presiunii pe corpul aerodinamic.

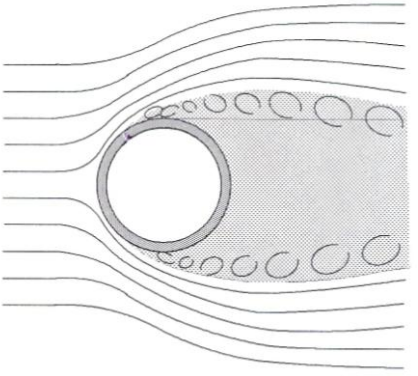


Fig.17.1. Curgerea fluidului [3]

Expresia vitezei aerului pe suprafaţa unui cilindru este [3]

$$v = 2v_\infty \sin\alpha, \tag{17.1}$$

în care (fig.17.2): v_∞ reprezintă viteza fluxul de aer înainte de contactul cu cilindrul iar α – unghiul de poziţei faţă de direcţia de curgere a aerului, a punctului în care se calculează viteza aerului. Presiunea relativă calculată în acelaşi punct este [3, 4]

$$p_r = p - p_0 = \frac{1}{2}\rho v_\infty^2\left(1 - 4\sin^2\alpha\right), \tag{17.2}$$

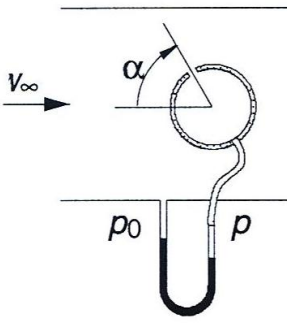


Fig.17.2. Principiul de calcul a presiunii [3, 4]

în care: p reprezintă presiunea în punctul aflat în poziţia unghiulară α faţă de direcţia de curgere a aerului; p_0 – presiunea statică; ρ – densitatea aerului (ρ=1.2255 kg/m^3 la nivelul mării). În măsurătorile din aplicaţie, presiunea se măsoară prin intermediul tuburilor manometrice şi se ţine seama de faptul că

1 cm col. Apă = 1 mbar = 100 Pa. (17.3)

Aplicaţia îşi propune să realizeze trasarea curbei de distribuţie a presiunii pe suprafaţa exterioară a unui cilindru, în funcţie de poziţia unghiulară a punctelor de măsurare şi a vitezei aerului.

17.2. Echipamente

Tunelul aerodinamic utilizat pentru generarea vântului (fig.17.3) [2] este unul subsonic (viteza aerului ajunge până la 0,1 Mach), cu circuit deschis (aerul este preluat din exterior şi expulzat tot în exterior, cu viteză mărită).

Modelul experimental *1* este fixat în secţiunea de măsurări *2*. Aerul este absorbit în tunel prin pâlnia de alimentare *5* iar curgerea laminară este asigurată prin secţiunea *4* (eventualele componente transversale ale circulaţiei aerului sunt reduse la zero). Curgerea laminară a aerului este accelerată de aproximativ 3,3 ori în secţiunea *3*; zona *6* a tunelului realizează decelerarea vitezei aerului care este exhaustat în exterior prin ventilatorul *7*.

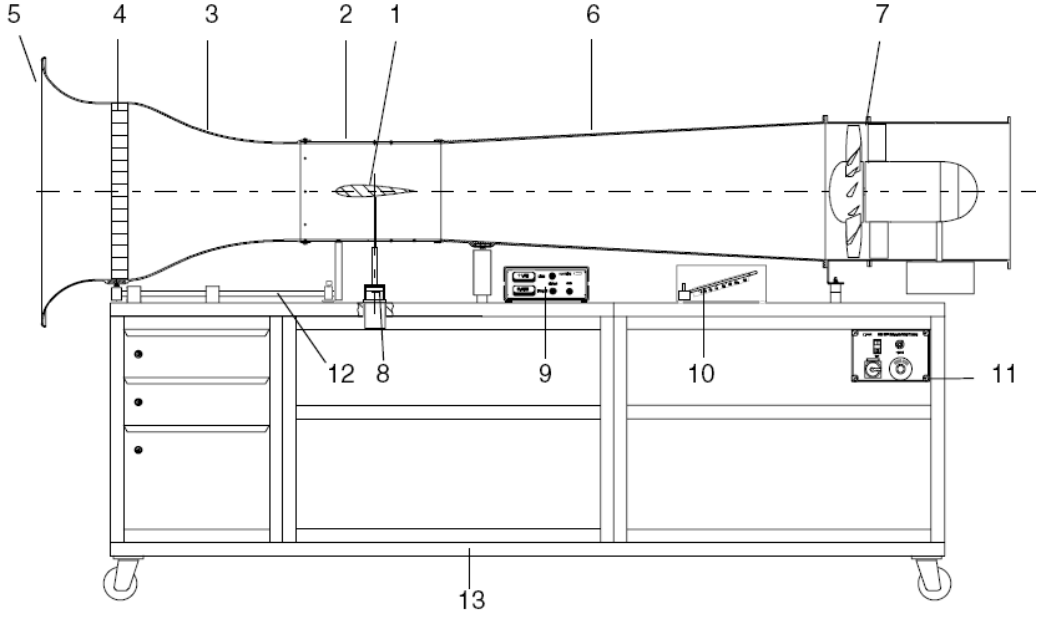


Fig.17.3. Tunelul aerodinamic [2]

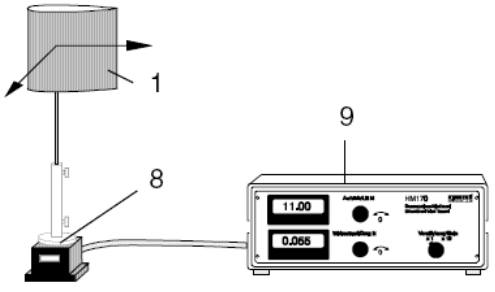


Fig.17.4. Sistemul de măsurare

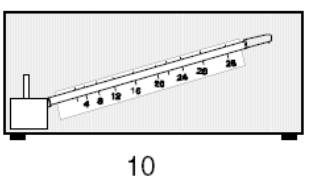


Fig.17.5. Tubul manometric

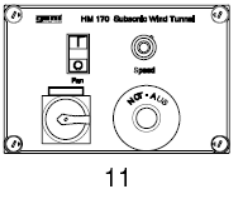


Fig.17.6. Panoul de comandă

Măsurarea forţelor se relizează prin intermediul traductorului de forţă *8*, care este solidar cu modelul experimental *1* (fig.17.4). Prin acest traductor, în interiorul tunelului se pot realiza măsurători (după 2 direcţii – antrenare şi portanţă) referitoare la: forţe, viteze, presiuni, coeficientul aerodinamic de antrenare (*drag*) şi de portanţă (*lift*). Valorile măsurate pentru forţe se pot vizualiza pe ecranul amplificatorului *9* (v. fig.17.4).

Viteza aerului în secţiunea de măsurări *2* se poate citi la tubul manometru înclinat *10* (fig.17.5). Panoul de comandă *11* (fig.17.6) conţine un comutator principal ON/OFF de alimentare cu energie electrică, un buton de oprire de urgenţă, un buton de reglare a vitezei aerului (convertor în frecvenţă) şi un comutator ON/OFF al ventilatorului.

Şina *12* permite translatarea peretelui lateral al secţiunii de măsurări şi accesul la interiorul secţiunii Sistemul este amplasat pe batiul *13* prevăzut cu role.

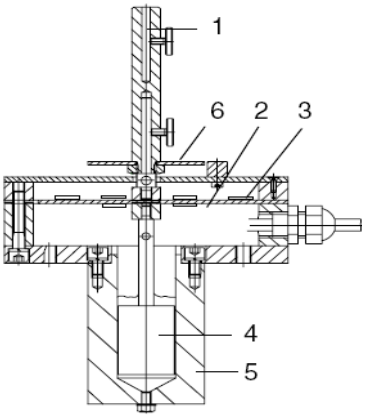


Fig.17.7. Principiul de măsurare a forţelor [2]

Braţul *1* (fig.17.7) susţine modelul experimental iar fluxul de aer generează momentele de torsiune şi respectiv, de încovoiere, care deformează grinda *2*; deformaţiile sunt măsurate de către marca tensometrică *3* şi vizualizate la amplificatorul *9* (fig.17.4). Poziţia unghiulară (faţă de fluxul de aer) a modelului experimental este reglată prin intermediul discului gradat *6*. Pentru a evita vibraţiile nedorite, între baza *4* a braţului care susţine modelul experimental şi cavitatea *5*, se interpune vaselină. Modelul de măsurare se fixează în braţul *1* (v. fig.17.7) prin intermediul unui şurub cu pas fin (fig.17.8).

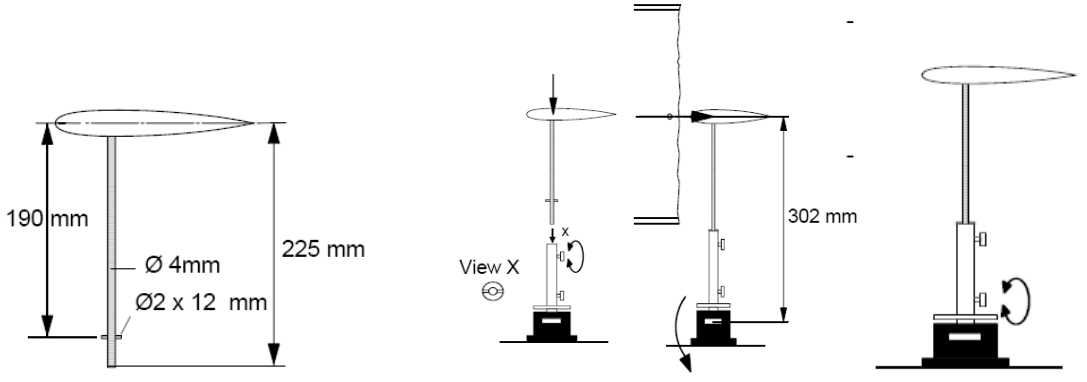


Fig.17.8. Fixarea modelului experimental [4]

Modelul aerodinamic (cilindru) [3] utilizat pentru măsurători (fig.17.9) este prevăzut cu 13 găuri dispuse pe circumferinţă, în direcţie axială, prin intermediul cărora se realizează măsurarea presiunii relative. Ţinând seama de simetria distribuţiei presiunii, măsurarea acesteia se poate efectua în intervale de 15^o. Fiecare punct de măsurare este conectat la punctele de conexiune a furtunelor de măsurare, aflate la baza cilindrului.

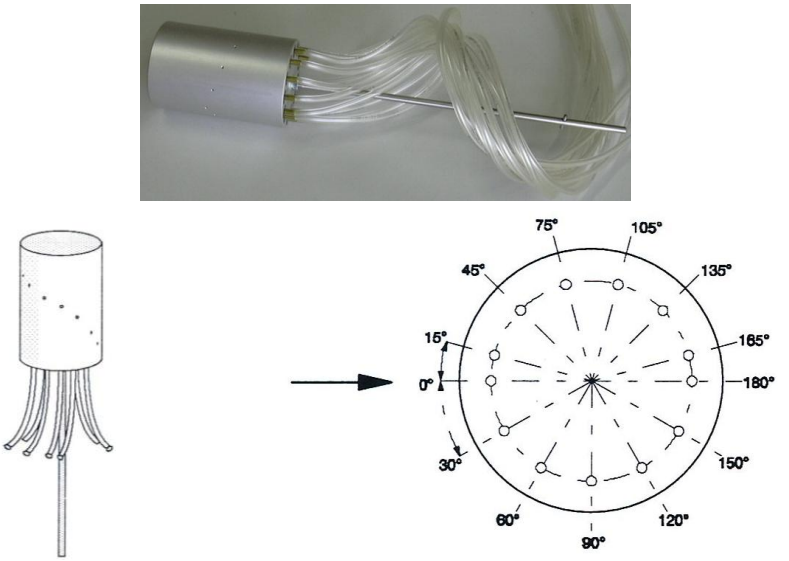


Fig.17.9. Modelul aerodinamic [3]

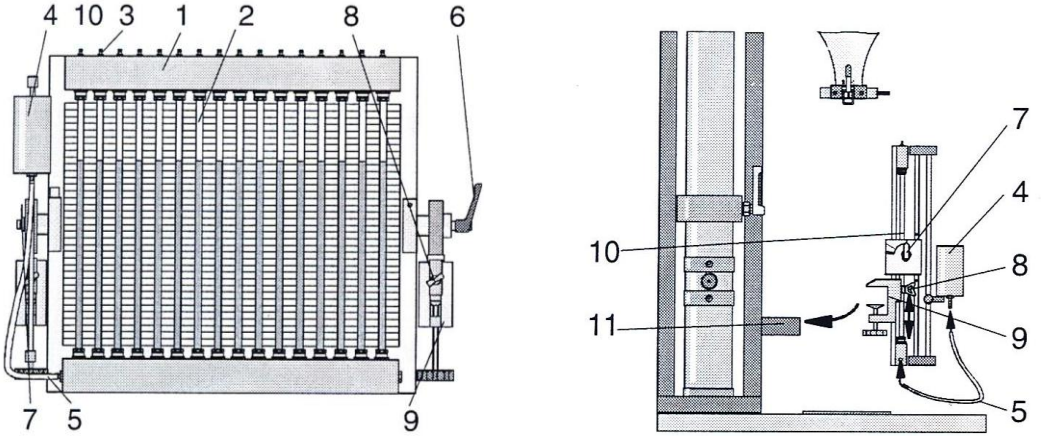


Fig.17.10. Manometrul multitub [4]

Manometrul multitub (fig.17.10) [4] conţine 16 tuburi de tip manometru cu scală gradată *2*, montate pe un panou rabatabil *1*. Fiecare tub manometric este prevăzut, în partea superioară, cu duză de conexiune *3*. Alimentarea cu apă se realizează prin intermediul rezervorului *4* conectat la tubul de legătură *5*. Prin construcţie manomentrul multitub oferă posibilitatea de măsurare a presiunilor absolute sau relative ale aerului, a presiunilor statice sau dinamice ale aerului aflat în curgere. Panoul se poate orienta în 3 poziţii de înclinare prin intermediul pârghiei *6*, oferind astfel posibilitatea de măsurare a presiunilor foarte mici. Înclinarea panoului se poate citi pe indicatorul *7*: 1:2 (63,4^o), 1:5 (78,7^o), 1:10 (84,3^o). Fixarea pe direcţie verticală a panoului se realizează prin intermediul şuruburilor *8*, ţinând seama de indicatorul *10*. Fixarea panoului pe standul *11* se realizezaă prin şuruburile de stângere *9*.

Pentru alimentarea cu apă, rezervorul se fixează la mijlocul tuburilor manometrice şi se alimentează cu apă până la jumătatea înălţimii rezervorului (fig.17.11).

La alimentarea cu apă, duzele superioare ale tuburilor manometrice sunt neconectate, şi conform principiului vaselor comunicante, nivelul apei este acelaşi în rezervor şi în toate tuburile (fig.17.12), ţinând seama de presiunea atmosferică.

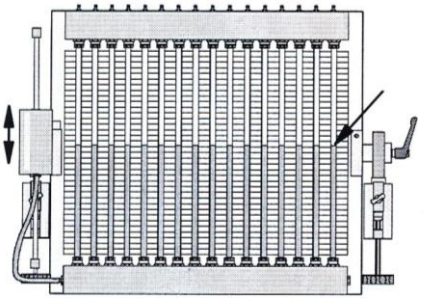


Fig.17.11. Alimentarea cu apă [4]

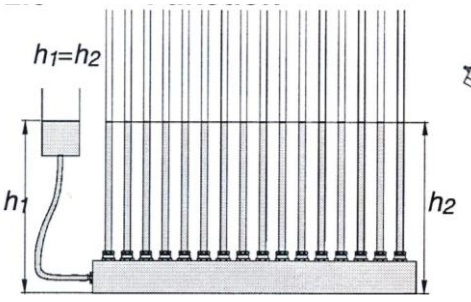


Fig.17.12. Nivelul apei [4]

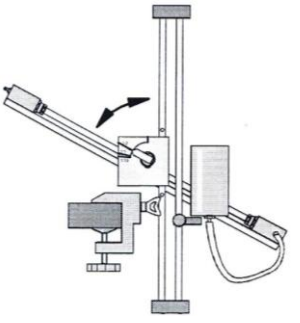


Fig.17.13. Reglarea înclinării [4]

Pentru acurateţea măsurătorilor se poate regla înclinarea panoului (fig.17.13) la 1:2 (63,4^o), 1:5 (78,7^o), 1:10 (84,3^o), prin acţionarea pârghiei *6* (v. fig.17.10) şi citirea indicatorului *7*.

17.3. Testări

Pentru realizarea testărilor se realizează sistemul de testare conform schemei din figura 17.14 ţinând seama de următoarele aspecte:

- duzele superioare ale tuburilor manometrice sunt conectate prin intermediul furtunelor flexibile *1* la duzele clindrului *2*;
- duza rezervorului *3* este conectată printr-un furtun flexibil la secţiunea de măsurare *4* pentru măsurarea presiunii statice (măsurarea presiunii statice se poate realiza şi fără această conexiune, prin intermediul manometrului înclinat *10* al tunelului aerodinamic – v. fig.17.3);

- se înclină manometrul multitub pentru a asigura un domeniu de măsurare de ±500 Pa (în cazul înclinării, valoarea citită trebuie împărţită la factorul de înclinare);

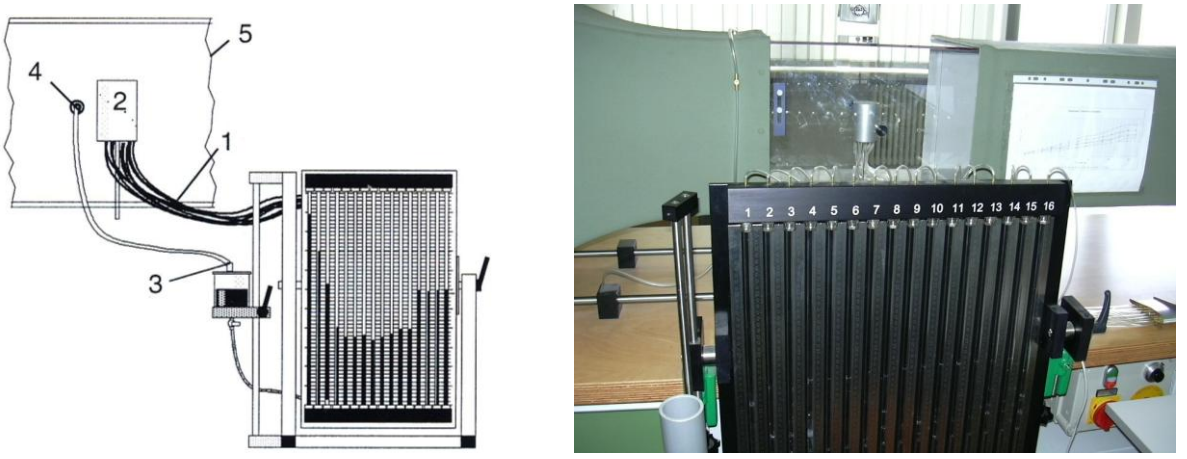


Fig.17.14. Sistemul de testare [4]

- se aliniază rezervorul *3* la poziţia 0 prin deplasarea pe verticală;
- pe panoul de comandă *11* (v. fig.17.3) al tunelului aerodinamic, butonul *2* de alimentare cu energie electrică este poziţionat pe ON (fig.17.15);

Fig.17.15. Panoul de comandă

- comutatorul ventilatorului *3* este poziţionat pe ON (v. fig.17.15);
- utilizând butonul de reglare a vitezei aerului *4*, se reglează viteza aerului în interiorul tunelului $\mathbf{v_t}$ (reglarea valorilor se realizează prin citirea acestora la manometrul înclinat *10* – v. fig.17.3); în caz de urgenţă se poate utiliza butonul *1* de oprire automată a sistemului v. fig.17.15);
- pentru fiecare valoare reglată a vitezei aerului în interiorul tunelului se citesc valorile presiunilor pe manometrul multitub;
- utilizând relaţia (17.2) se determină valoarea presiunii relative pentru fiecare măsurare.

17.4. Rezultate

Rezultatele măsurătorilor şi ale calculelor se trec în tabelele următoare.

Se trasează diagramele de variaţie a presiunii calculate şi măsurate (pe acelaşi grafic) în funcţie de poziţia unghiulară a punctului de măsurare, separat pentru fiecare viteză a aerului.

Tabelul 17.1

v_t, m/s	5												
Unghi	0	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°
$p_{r\ teor}$, Pa													
$p_{r\ exp}$, Pa													
v_t, m/s	10												
Unghi	0	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°
$p_{r\ teor}$, Pa													
$p_{r\ exp}$, Pa													
v_t, m/s	15												
Unghi	0	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°
$p_{r\ teor}$, Pa													
$p_{r\ exp}$, Pa													
v_t, m/s	20												
Unghi	0	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°
$p_{r\ teor}$, Pa													
$p_{r\ exp}$, Pa													
v_t, m/s	25												
Unghi	0	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°
$p_{r\ teor}$, Pa													
$p_{r\ exp}$, Pa													

Se trasează diagramele de variaţie a presiunii calculate şi măsurate (pe acelaşi grafic) în funcţie de viteza aerului, separat pentru poziţiile unghiulare: 0°, 30°, 60°, 90°, 120°, 150°, 180°.

17.5. Concluzii

Se identifică concluziile referitoare la variaţia presiunii relative în funcţie de viteza aerului şi de poziţia unghiulară a punctelor de măsurare.

Bibliografie

1. www.gunt.de
2. * * *. Equipment for Engineering Education. Operating Instructions. HM170 Educational Wind Tunnel. G.U.N.T. Gerätebau GmBH. Barsbüttel, Germany.
3. * * *. Equipment for Engineering Education. Operating Instructions. HM170.23 Pressure Cylinder. G.U.N.T. Gerätebau GmBH. Barsbüttel, Germany.
4. * * *. Equipment for Engineering Education. Experiment Instructions. HM170.50 Multi-Tube Manometer Panel. G.U.N.T. Gerätebau GmBH. Barsbüttel, Germany.

Aplicaţia 18

STUDIUL INFLUENŢEI UNGIHULUI DE ATAC ASUPRA DISTRIBUŢIEI PRESIUNII PE SECŢIUNEA TRANSVERSALĂ A PALEI UNEI TURBINE EOLIENE

18.1. Obiectivul aplicaţiei

Caracterul curgerii aerului (laminar sau turbulent) are o influenţă importantă asupra aerodinamicii palelor turbinelor eoliene. Pentru o comportare aerodimanică bună, se urmăreşte identificarea cazurilor în care aerul are o curgere laminară (straturile de aer se deplasează paralel), o curgere turbulentă (straturile de aer nu se deplasează paralel) conducând la apariţia vibraţiilor, cu efecte nedorite din punct de vedere dinamic (de exemplu, în cazul aeronavelor, o curgere turbulentă a aerului la nivelul aripilor poate duce la prăbuşirea aeronavei). Unghiul de înclinare a palei turbinei eoliene (unghiul de atac) influenţează caracterul curgerii aerului (fig.18.1). Astfel, pe de o parte, prin înclinarea palei se poate obţine o portanţă mărită (deci curent generat mai mare) dar, pe de altă parte, curgerea turbulentă a aerului generată de înclinarea palei poate duce la efecte dinamice nedorite (vibraţii). Se urmăreşte identificarea unui compromis între unghiul de înclinare a palei (portanţă mărită) şi curgerea aerului cu turbulenţe reduse.

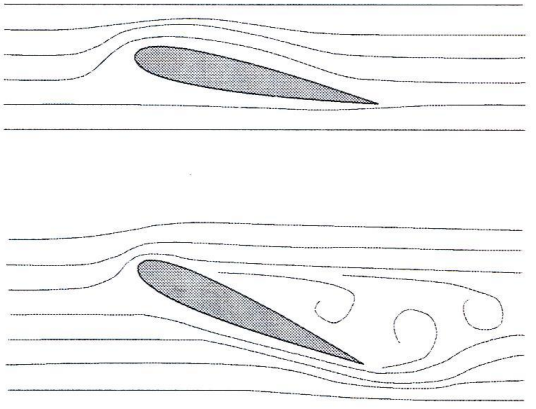


Fig.18.1. Curgerea aerului

În măsurătorile din aplicaţie, pentru punctele de măsurare, presiunea se măsoară prin intermediul tuburilor manometrice şi se ţine seama de faptul că

1 cm col. Apă = 1 mbar = 100 Pa. (18.1)

Aplicaţia îşi propune să realizeze trasarea curbei de distribuţie a presiunii pe suprafaţa exterioară a unei secţiuni transversale pentru o pală a unei turbine eoliene, în funcţie de viteza aerului şi de unghiul de atac.

18.2. Echipamente

Tunelul aerodinamic utilizat pentru generarea vântului (fig.18.2) [2] este unul subsonic (viteza aerului ajunge până la 0,1 Mach), cu circuit deschis (aerul este preluat din exterior şi expulzat tot în exterior, cu viteză mărită).

Modelul experimental *1* este fixat în secţiunea de măsurări *2*. Aerul este absorbit în tunel prin pâlnia de alimentare *5* iar curgerea laminară este asigurată prin secţiunea *4* (eventualele componente transversale ale circulaţiei aerului sunt reduse la zero). Curgerea laminară a aerului este accelerată de aproximativ 3,3 ori în secţiunea *3*; zona *6* a tunelului realizează decelerarea vitezei aerului care este exhaustat în exterior prin ventilatorul *7*.

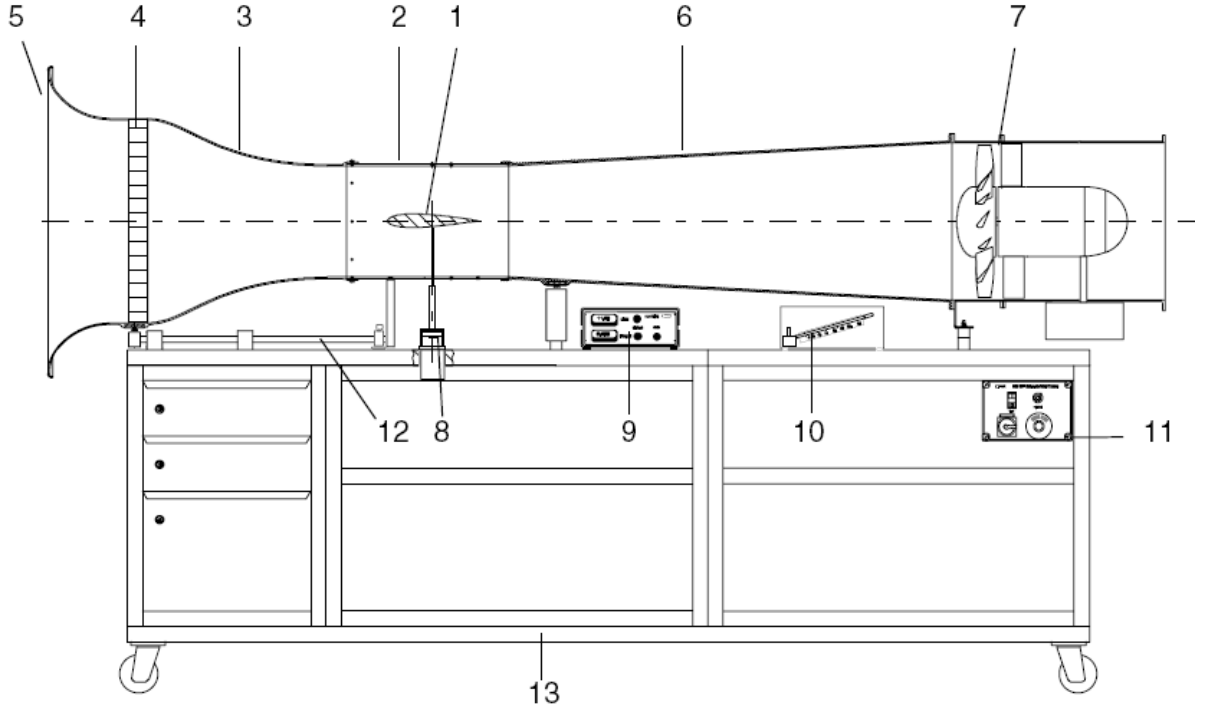
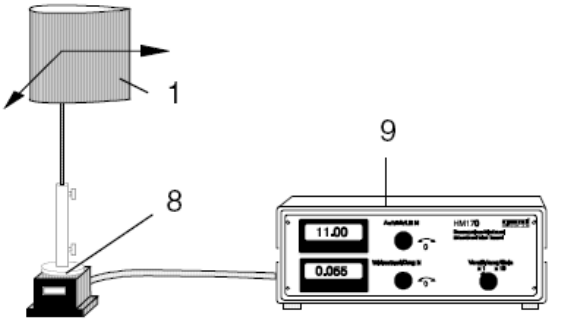
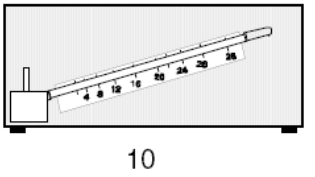


Fig.18.2. Tunelul aerodinamic [2]

Măsurarea forţelor se relizează prin intermediul traductorului de forţă *8*, care este solidar cu modelul experimental *1* (fig.18.3). Prin acest traductor, în interiorul tunelului se pot realiza măsurători (după 2 direcţii – antrenare şi portanţă) referitoare la: forţe, viteze, presiuni, coeficientul aerodinamic de antrenare (*drag*) şi de portanţă (*lift*). Valorile măsurate pentru forţe se pot vizualiza pe ecranul amplificatorului *9* (v. fig.18.3).





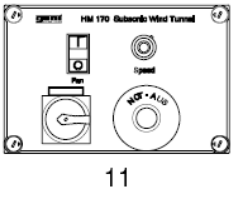


Fig.18.3. Sistemul de măsurare Fig.18.4. Tubul manometric Fig.18.5. Panoul de comandă

Viteza aerului în secţiunea de măsurări *2* se poate citi la tubul manometru înclinat *10* (fig.18.4). Panoul de comandă *11* (fig.18.5) conţine un comutator principal ON/OFF de alimentare cu energie electrică, un buton de oprire de urgenţă, un buton de reglare a vitezei aerului (convertor în frecvenţă) şi un comutator ON/OFF al ventilatorului.

Şina *12* permite translatarea peretelui lateral al secţiunii de măsurări şi accesul la interiorul secţiunii Sistemul este amplasat pe batiul *13* prevăzut cu role.

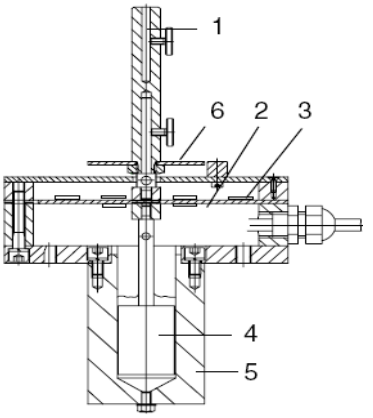


Fig.18.6. Principiul de măsurare a forţelor [2]

Braţul *1* (fig.18.6) susţine modelul experimental iar fluxul de aer generează momentele de torsiune şi respectiv, de încovoiere, care deformează grinda *2*; deformaţiile sunt măsurate de către marca tensometrică *3* şi vizualizate la amplificatorul *9* (fig.18.3). Poziţia unghiulară (faţă de fluxul de aer) a modelului experimental este reglată prin intermediul discului gradat *6*. Pentru a evita vibraţiile nedorite, între baza *4* a braţului care susţine modelul experimental şi cavitatea *5*, se interpune vaselină. Modelul de măsurare se fixează în braţul *1* (v. fig.18.6) prin intermediul unui şurub cu pas fin (fig.18.7).

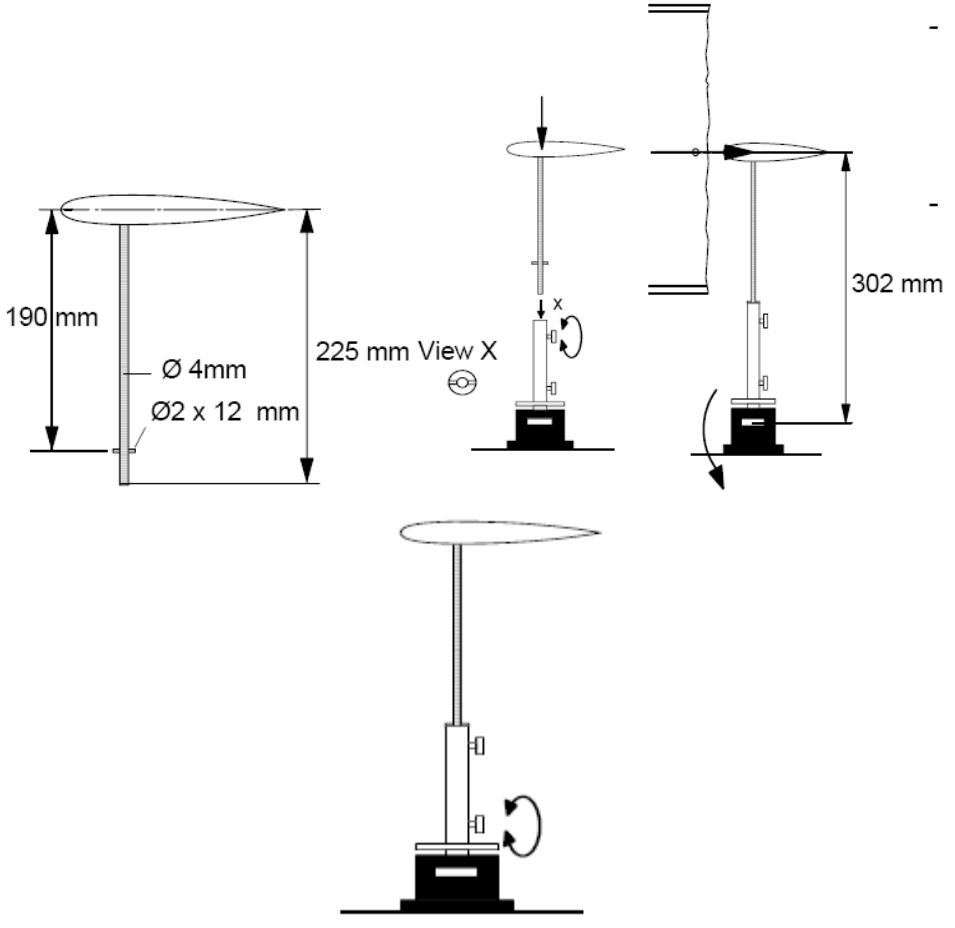


Fig.18.7. Fixarea modelului experimental [2]

Modelul aerodinamic (secţiunea transversală prin pală) [3] utilizat pentru măsurători (fig.18.8) este prevăzut cu 16 găuri dispuse pe circumferinţă, în direcţie axială, prin intermediul cărora se realizează măsurarea presiunii relative. Fiecare punct de măsurare (diametrul acestuia este 1,5 mm) este conectat la punctele de conexiune a furtunelor de măsurare, aflate la baza modelului. Coordonatele punctelor de măsurare sunt prezentate în tabelul 18.1 [3].

Tabelul 18.1

Nr. punct	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
X	2,5	5	5	12,6	12,6	20,2	20,2	30	30	45,8	45,8	59,7	59,7	75,12	75,1	85,5
Y	0	-1,8	1,8	-3,8	3,8	-4,7	4,7	-5	5	-4,4	4,4	-3,2	3,2	-1,4	1,4	0

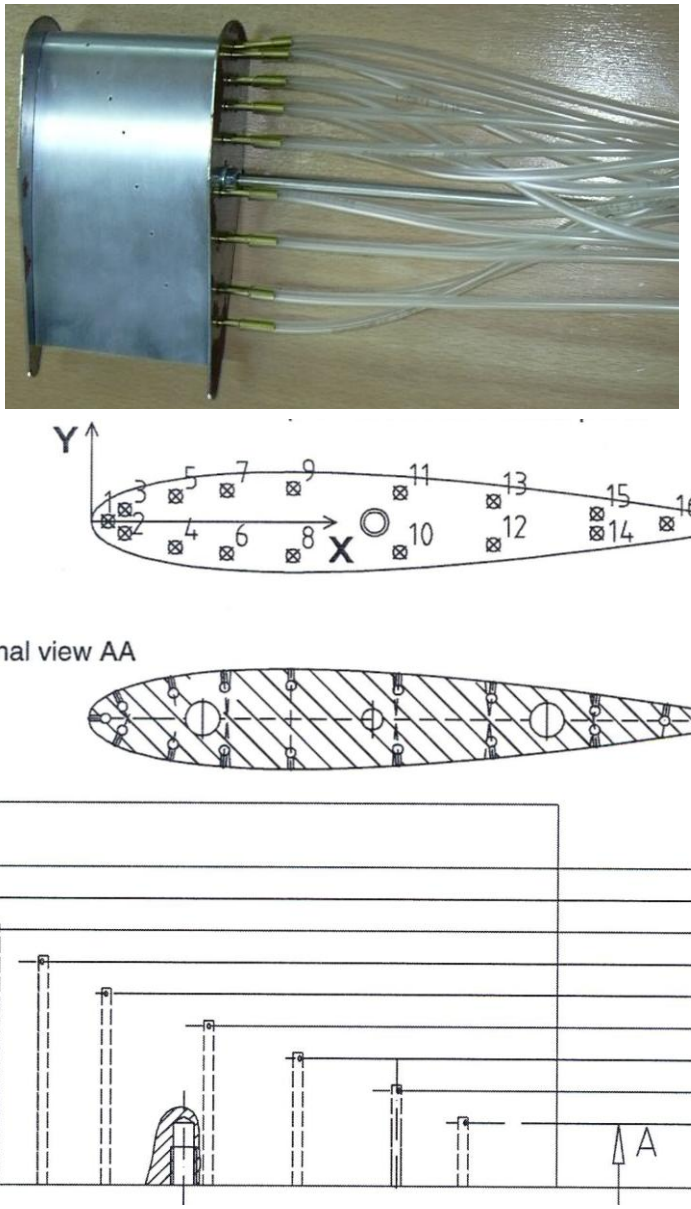


Fig.18.8. Modelul aerodinamic [3]

Manometrul multitub (fig.18.9) [4] conţine 16 tuburi de tip manometru cu scală gradată *2*, montate pe un panou rabatabil *1*. Fiecare tub manometric este prevăzut, în partea superioară, cu duză de conexiune *3*. Alimentarea cu apă se realizează prin intermediul rezervorului *4* conectat la tubul de legătură *5*. Prin construcţie manomentrul multitub oferă posibilitatea de măsurare a presiunilor absolute sau relative ale aerului, a presiunilor statice sau dinamice ale aerului aflat în curgere. Panoul se poate orienta în 3 poziţii de înclinare prin intermediul pârghiei *6*, oferind astfel posibilitatea de măsurare a presiunilor foarte mici. Înclinarea panoului se poate citi pe indicatorul *7*: 1:2 (63,4^o), 1:5 (78,7^o), 1:10 (84,3^o). Fixarea pe direcţie verticală a panoului se realizează prin intermediul şuruburilor *8*, ţinând seama de indicatorul *10*. Fixarea panoului pe standul *11* se realizezaă prin şuruburile de stângere *9*.

Pentru alimentarea cu apă, rezervorul se fixează la mijlocul tuburilor manometrice şi se alimentează cu apă până la jumătatea înălţimii rezervorului (fig.18.10).

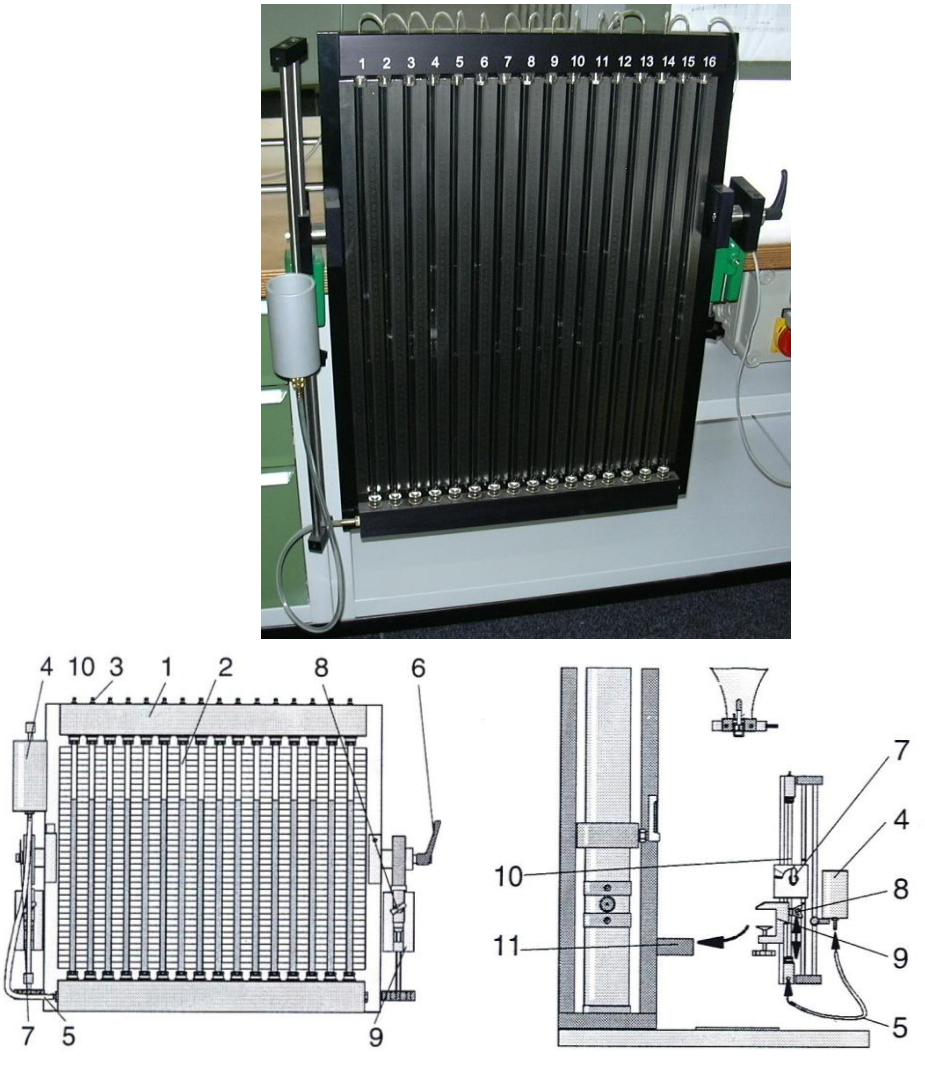
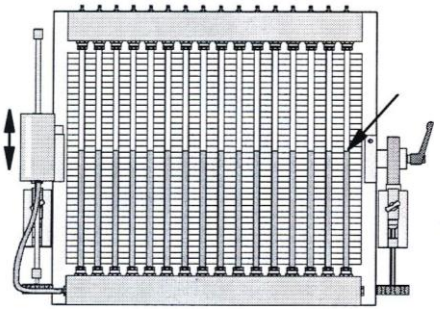
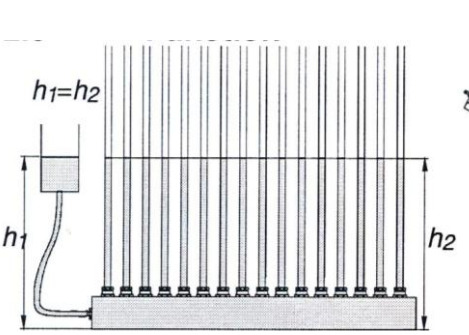


Fig.18.9. Manometrul multitub [4]

La alimentarea cu apă, duzele superioare ale tuburilor manometrice sunt neconectate, şi conform principiului vaselor comunicante, nivelul apei este acelaşi în rezervor şi în toate tuburile (fig.18.11), ţinând seama de presiunea atmosferică.





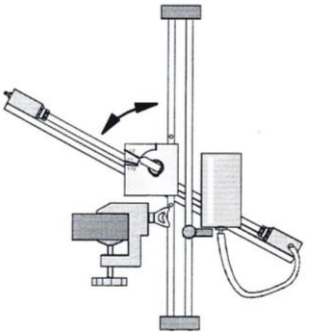


Fig.18.10. Alimentarea cu apă [4] Fig.18.11. Nivelul apei [4] Fig.18.12. Reglarea înclinării [4]

Pentru acurateţea măsurătorilor se poate regla înclinarea panoului (fig.18.12) la 1:2 (63,4^o), 1:5 (78,7^o), 1:10 (84,3^o), prin acţionarea pârghiei *6* (v. fig.18.9) şi citirea indicatorului *7*.

18.3. Testări

Pentru realizarea testărilor se realizează sistemul de testare conform schemei din figura 18.13 ţinând seama de următoarele aspecte:

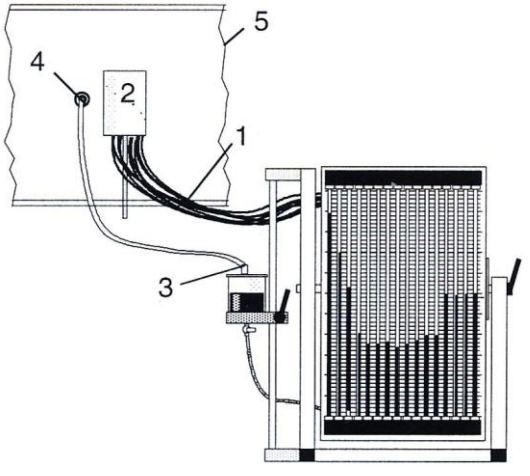


Fig.18.13. Sistemul de testare [4]

- duzele superioare ale tuburilor manometrice sunt conectate prin intermediul furtunelor flexibile *1* la duzele modelului aerodinamic *2*;
- poziţia unghiulară (faţă de fluxul de aer) a modelului experimental este reglată prin intermediul discului gradat *6* (v. fig.18.6) la valoarea 0^o;
- duza rezervorului *3* este conectată printr-un furtun flexibil la secţiunea de măsurare *4* pentru măsurarea presiunii statice (măsurarea presiunii statice se poate realiza şi fără

această conexiune, prin intermediul manometrului înclinat *10* al tunelului aerodinamic – v. fig.18.2);

- se înclină manometrul multitub pentru a asigura un domeniu de măsurare de ±500 Pa (în cazul înclinării, valoarea citită trebuie împărţită la factorul de înclinare);
- se aliniază rezervorul *3* la poziţia 0 prin deplasarea pe verticală;
- pe panoul de comandă *11* (v. fig.18.2) al tunelului aerodinamic, butonul *2* de alimentare cu energie electrică este poziţionat pe ON (fig.18.14);
- comutatorul ventilatorului *3* este poziţionat pe ON (v. fig.18.14);

Fig.18.14. Panoul de comandă

- utilizând butonul de reglare a vitezei aerului *4*, se reglează viteza aerului în interiorul tunelului $\mathbf{v_t}$ (reglarea valorilor se realizează prin citirea acestora la manometrul înclinat *10* – v. fig.18.2); în caz de urgenţă se poate utiliza butonul *1* de oprire automată a sistemului v. fig.18.14);
- pentru fiecare valoare reglată a vitezei aerului în interiorul tunelului se citesc valorile presiunilor pe manometrul multitub;
- se repetă măsurătorile pentru poziţiile unghiulare de 15^o, 30^o, 45^o.

18.4. Rezultate

Rezultatele măsurătorilor şi ale calculelor se trec în tabelele următoare 18.2 ... 18.5.

Se trasează diagramele de variaţie a presiunii în funcţie de viteza aerului pe acelaşi profil aerodimanic, în cazul seturilor de unghiuri de atac.

18.5. Concluzii

Se identifică concluziile referitoare la variaţia presiunii relative în funcţie de viteza aerului şi de unghiul de atac, pentru punctele de măsurare ale modelului aerodinamic.

Tabelul 18.2

Unghi de atac	0^o															
Viteză $\mathbf{v_t}$, m/s	5															
Punct de măsurare	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Presiune *p*, Pa																
Unghi de atac	0^o															
Viteză $\mathbf{v_t}$, m/s	10															
Punct de măsurare	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Presiune *p*, Pa																
Unghi de atac	0^o															
Viteză $\mathbf{v_t}$, m/s	15															
Punct de măsurare	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Presiune *p*, Pa																
Unghi de atac	0^o															
Viteză $\mathbf{v_t}$, m/s	20															
Punct de măsurare	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Presiune *p*, Pa																

Tabelul 18.3

Unghi de atac	15^o															
Viteză $\mathbf{v_t}$, m/s	5															
Punct de măsurare	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Presiune *p*, Pa																
Unghi de atac	15^o															
Viteză $\mathbf{v_t}$, m/s	10															
Punct de măsurare	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Presiune *p*, Pa																
Unghi de atac	15^o															
Viteză $\mathbf{v_t}$, m/s	15															
Punct de măsurare	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Presiune *p*, Pa																
Unghi de atac	15^o															
Viteză $\mathbf{v_t}$, m/s	20															
Punct de măsurare	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Presiune *p*, Pa																

Tabelul 18.4

Unghi de atac	30^o															
Viteză $\mathbf{v_t}$, m/s	5															
Punct de măsurare	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Presiune *p*, Pa																
Unghi de atac	30^o															
Viteză $\mathbf{v_t}$, m/s	10															
Punct de măsurare	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Presiune *p*, Pa																
Unghi de atac	30^o															
Viteză $\mathbf{v_t}$, m/s	15															
Punct de măsurare	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Presiune *p*, Pa																
Unghi de atac	30^o															
Viteză $\mathbf{v_t}$, m/s	20															
Punct de măsurare	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Presiune *p*, Pa																

Tabelul 18.5

Unghi de atac	45^o															
Viteză $\mathbf{v_t}$, m/s	5															
Punct de măsurare	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Presiune *p*, Pa																
Unghi de atac	45^o															
Viteză $\mathbf{v_t}$, m/s	10															
Punct de măsurare	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Presiune *p*, Pa																
Unghi de atac	45^o															
Viteză $\mathbf{v_t}$, m/s	15															
Punct de măsurare	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Presiune *p*, Pa																
Unghi de atac	45^o															
Viteză $\mathbf{v_t}$, m/s	20															
Punct de măsurare	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Presiune *p*, Pa																

Bibliografie

1. www.gunt.de
2. * * *. Equipment for Engineering Education. Operating Instructions. HM170 Educational Wind Tunnel. G.U.N.T. Gerätebau GmBH. Barsbüttel, Germany.
3. * * *. Equipment for Engineering Education. Operating Instructions. HM170.22 Pressure Cylinder. G.U.N.T. Gerätebau GmBH. Barsbüttel, Germany.
4. * * *. Equipment for Engineering Education. Experiment Instructions. HM170.50 Multi-Tube Manometer Panel. G.U.N.T. Gerätebau GmBH. Barsbüttel, Germany.

Aplicaţia 19

STUDIUL CURGERII AERULUI PE SUPRAFEŢE PLANE

19.1. Obiectivul aplicaţiei

Studiul curgerii aerului pe suprafaţa palei turbinei eoliene are o importanţă deosebită în vederea identificării caracterului laminar sau turbulent al curgerii, cu influenţă directă asupra dinamicii rotorului (curgerea turbulentă a aerului pe pală poate genera şocuri şi vibraţii în structura rotorului).

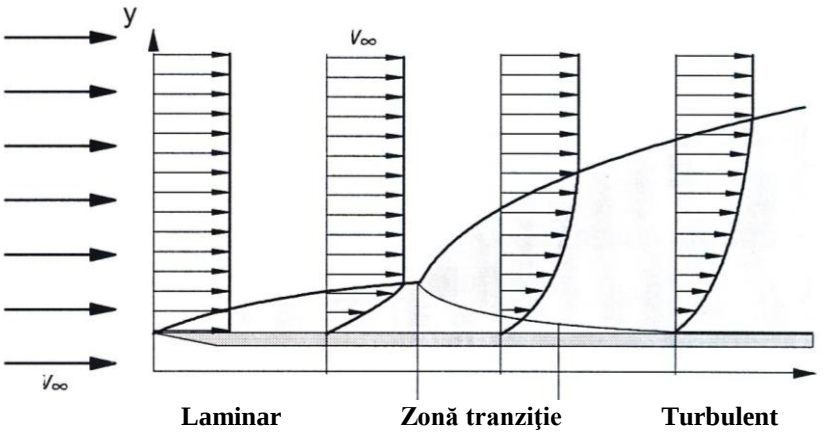


Fig.19.1. Curgerea aerului pe o suprafaţă plană [3]

Curgerea aerului la interacţiunea cu suprafeţele plane (paralele cu direcţia de curgere) are un caracter complex – atât laminar (starturile de aer se deplasează paralel cu suprafaţa plană), cât şi turbulent (straturile de aer se deplasează dezordonat, cu legi de mişcare oarecare). La distanţe mici de zona de interaţiune a aerului cu suprafaţa plană paralelă cu direcţia de curgere, deplasarea aerului este laminară, viteza de curgere fiind dependentă de vâscozitatea fluidului (aerului). Stratul de curgere laminară devine turbulent la o anumită distanţă de zona de interacţiune cu suprafaţa plană (fig.19.1).

Grosimea straturilor de aer care au aceeaşi viteză de deplasare este influenţată de mărimea vitezei şi de caracterul curgerii: grosimea straturilor de aer scade cu creşterea vitezei de curgere iar în curgere turbulentă straturile de aer sunt mai subţiri decât în cazul curgerii laminare. Grosimea traturilor de aer creşte cu creşterea distanţei *x* faţă de zona de interacţiune cu placa plană.

Expresia vitezei de curgere a aerului este

$$v = \frac{\sqrt{2 p_{din}}}{\rho}, \qquad (19.1)$$

în care: p_{din} reprezintă presiunea dinamică iar ρ – densitatea aerului (ρ=1.2255 kg/m^3 la nivelul mării). Presiunea dinamică se determină ca diferenţă între presiunea totală p_{tot} şi presiunea sttatică p_{stat}

$$p_{din} = p_{tot} - p_{stat}\,. \qquad (19.2)$$

Aplicaţia îşi propune să realizeze trasarea curbelor de distribuţie a vitezei straturilor de aer în curgerea deasupra unei suprafeţe plane.

19.2. Echipamente

Tunelul aerodinamic utilizat pentru generarea vântului (fig.19.2) [2] este unul subsonic (viteza aerului ajunge până la 0,1 Mach), cu circuit deschis (aerul este preluat din exterior şi expulzat tot în exterior, cu viteză mărită).

Modelul experimental *1* este fixat în secţiunea de măsurări *2*. Aerul este absorbit în tunel prin pâlnia de alimentare *5* iar curgerea laminară este asigurată prin secţiunea *4* (eventualele componente transversale ale circulaţiei aerului sunt reduse la zero). Curgerea laminară a aerului este accelerată de aproximativ 3,3 ori în secţiunea *3*; zona *6* a tunelului realizează decelerarea vitezei aerului care este exhaustat în exterior prin ventilatorul *7*.

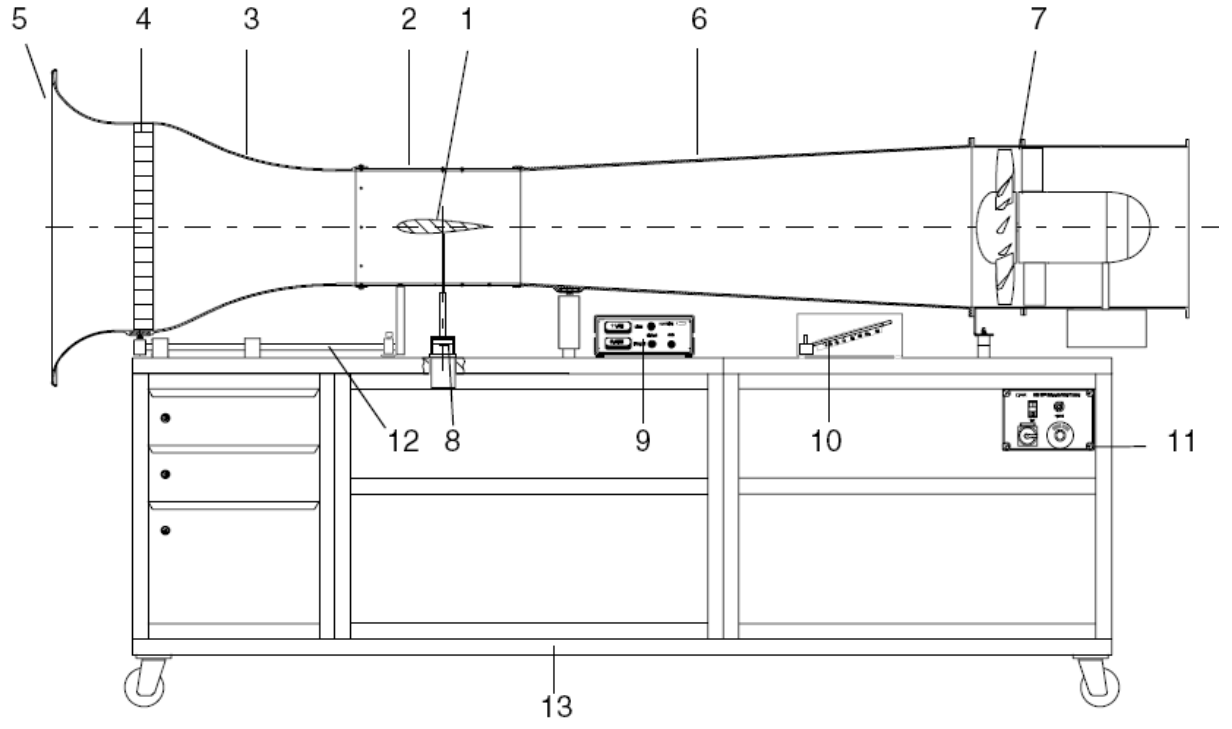


Fig.19.2. Tunelul aerodinamic [2]

Măsurarea forţelor se relizează prin intermediul traductorului de forţă *8*, care este solidar cu modelul experimental *1* (fig.19.3). Prin acest traductor, în interiorul tunelului se pot realiza măsurători (după 2 direcţii – antrenare şi portanţă) referitoare la: forţe, viteze, presiuni,

coeficientul aerodinamic de antrenare (*drag*) şi de portanţă (*lift*). Valorile măsurate pentru forţe se pot vizualiza pe ecranul amplificatorului *9* (v. fig.19.3).

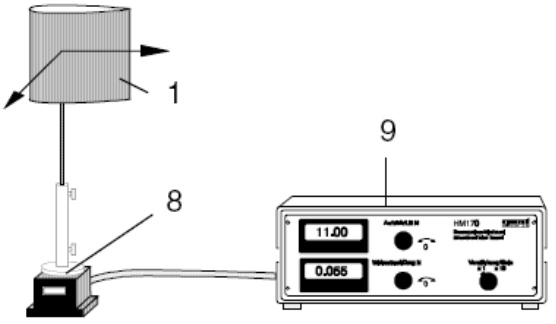


Fig.19.3. Sistemul de măsurare

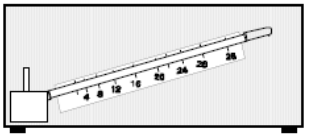


Fig.19.4. Tubul manometric

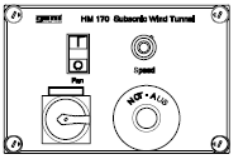


Fig.19.5. Panoul de comandă

Viteza aerului în secţiunea de măsurări *2* se poate citi la tubul manometru înclinat *10* (fig.19.4). Panoul de comandă *11* (fig.19.5) conţine un comutator principal ON/OFF de alimentare cu energie electrică, un buton de oprire de urgenţă, un buton de reglare a vitezei aerului (convertor în frecvenţă) şi un comutator ON/OFF al ventilatorului.

Şina *12* permite translatarea peretelui lateral al secţiunii de măsurări şi accesul la interiorul secţiunii. Sistemul este amplasat pe batiul *13* prevăzut cu role.

Braţul *1* (fig.19.6) susţine modelul experimental iar fluxul de aer generează momentele de torsiune şi respectiv, de încovoiere, care deformează grinda *2*; deformaţiile sunt măsurate de către marca tensometrică *3* şi vizualizate la amplificatorul *9* (fig.19.3). Poziţia unghiulară (faţă de fluxul de aer) a modelului experimental este reglată prin intermediul discului gradat *6*. Pentru a evita vibraţiile nedorite, între baza *4* a braţului care susţine modelul experimental şi cavitatea *5*, se interpune vaselină. Modelul de măsurare se fixează în braţul *1* (v. fig.19.6) prin intermediul unui şurub cu pas fin (fig.19.7).

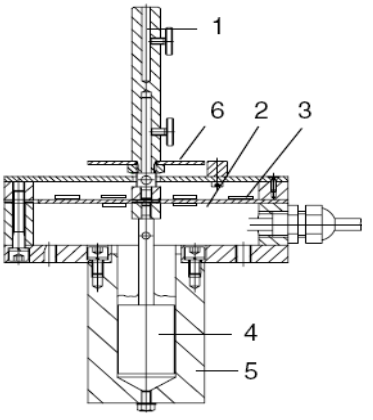


Fig.19.6. Principiul de măsurare a forţelor [2]

Dispozitivul utilizat pentru studiul curgerii aerului pe suprafeţe plane este prezentat în fig.19.8 [3]. Dispozitivul conţine două plăci plane de rugozităţi diferite *1* (fig.19.9) care se pot monta în secţiunea de măsurare *2* a tunelului aerodinamic. Tubul *Pitot* permite măsurarea presiunii la o anumită distanţă pe verticală faţă de placa *1*, distanţă reglabilă cu precizie ridicată prin intermediul micrometrului *5*. Placa 1 poate fi deplasată longitudinal prin intermediul angrenajului *4*, pentru realizarea de măsurători la diferite distanţe faţă de tubul *Pitot*. Presiunea statică se poate măsura prin conectarea duzei 6, utilizând un furtun flexibil, la un tub manometric.

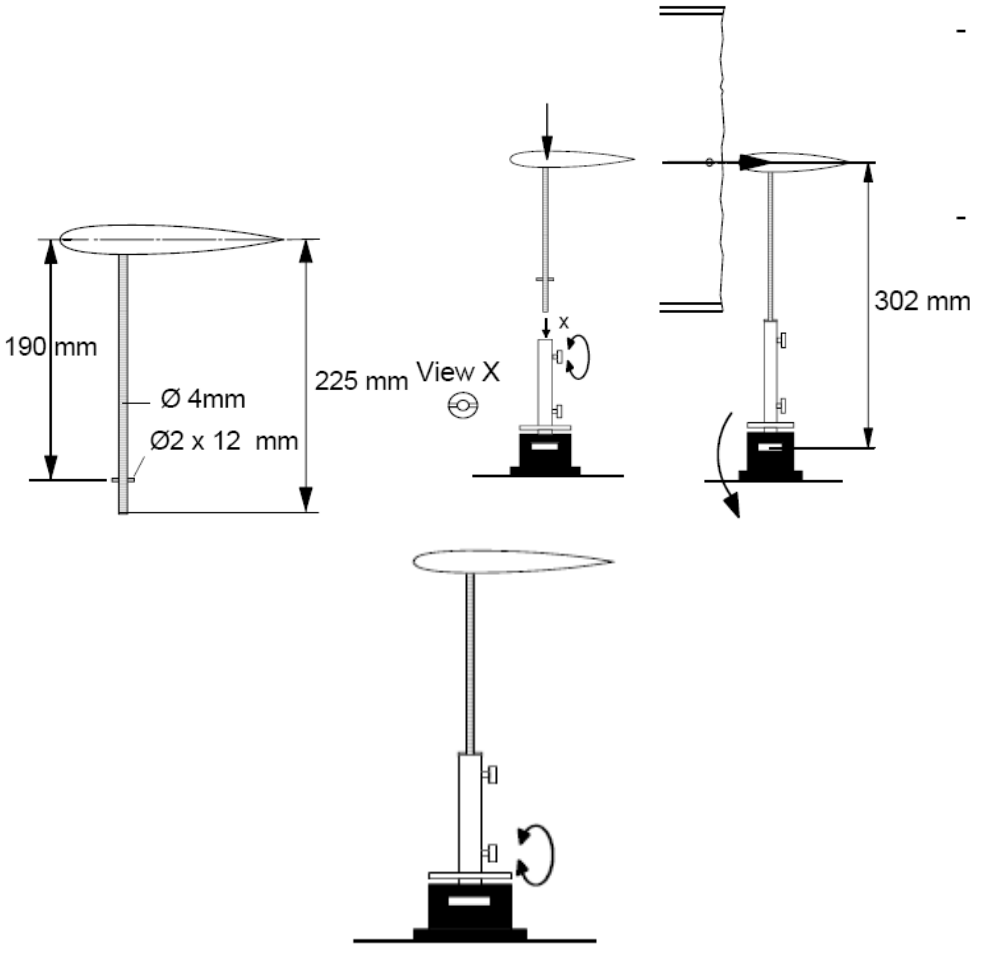


Fig.19.7. Fixarea modelului experimental [2]

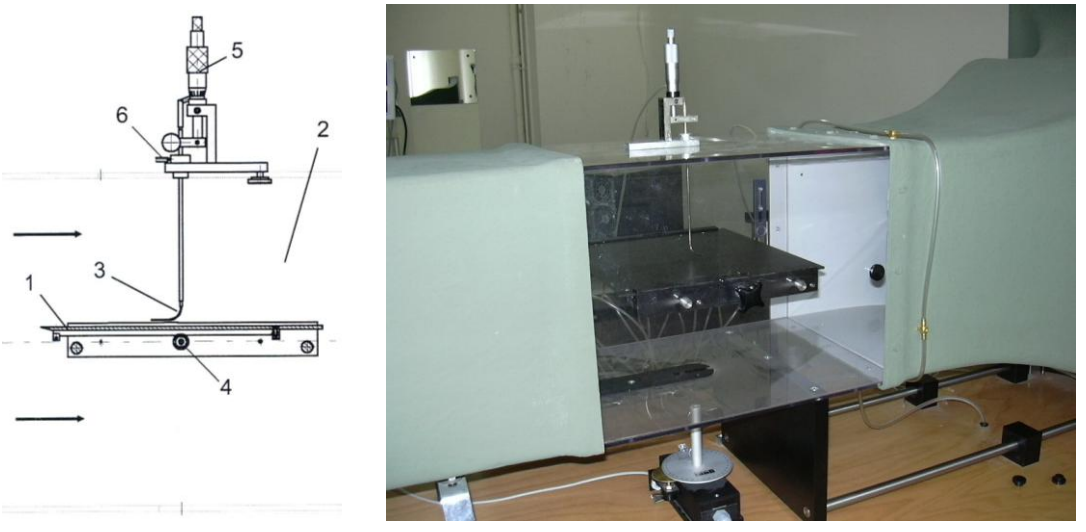


Fig.19.8. Dispozitivul de măsurare [3]

Manometrul multitub (fig.19.10) [4] conţine 16 tuburi de tip manometru cu scală gradată *2*, montate pe un panou rabatabil *1*. Fiecare tub manometric este prevăzut, în partea

superioară, cu duză de conexiune *3*. Alimentarea cu apă se realizează prin intermediul rezervorului *4* conectat la tubul de legătură *5*. Prin construcţie manomentrul multitub oferă posibilitatea de măsurare a presiunilor absolute sau relative ale aerului, a presiunilor statice sau dinamice ale aerului aflat în curgere. Panoul se poate orienta în 3 poziţii de înclinare prin intermediul pârghiei *6*, oferind astfel posibilitatea de măsurare a presiunilor foarte mici. Înclinarea panoului se poate citi pe indicatorul *7*: 1:2 (63,4^o), 1:5 (78,7^o), 1:10 (84,3^o). Fixarea pe direcţie verticală a panoului se realizează prin intermediul şuruburilor *8*, ţinând seama de indicatorul *10*. Fixarea panoului pe standul *11* se realizezaă prin şuruburile de stângere *9*.

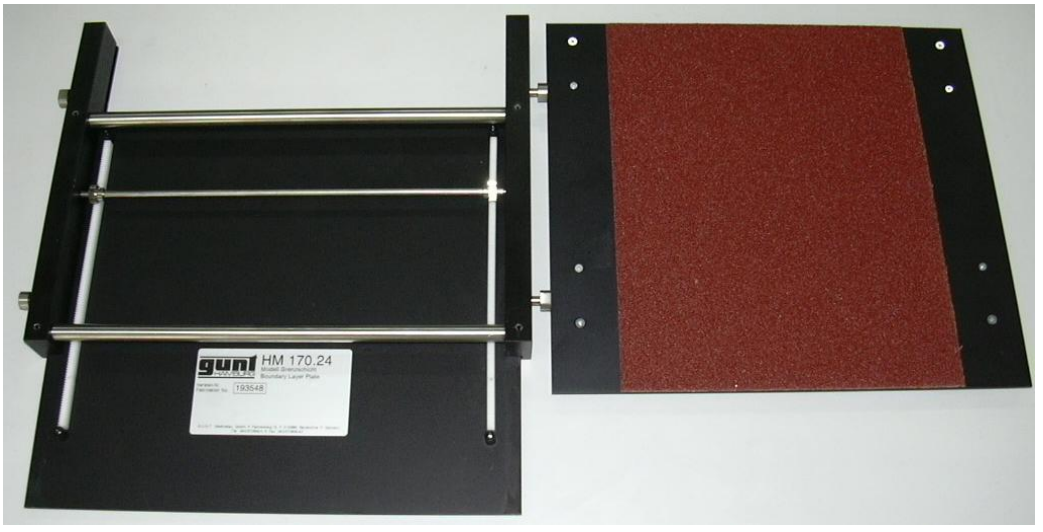


Fig.19.9. Plăcile plane

Pentru alimentarea cu apă, rezervorul se fixează la mijlocul tuburilor manometrice şi se alimentează cu apă până la jumătatea înălţimii rezervorului (fig.19.11).

La alimentarea cu apă, duzele superioare ale tuburilor manometrice sunt neconectate, şi conform principiului vaselor comunicante, nivelul apei este acelaşi în rezervor şi în toate tuburile (fig.19.12), ţinând seama de presiunea atmosferică.

Pentru acurateţea măsurătorilor se poate regla înclinarea panoului (fig.19.13) la 1:2 (63,4^o), 1:5 (78,7^o), 1:10 (84,3^o), prin acţionarea pârghiei *6* (v. fig.19.10) şi citirea indicatorului *7*.

19.3. Testări

Pentru realizarea testărilor se realizează sistemul de testare conform schemei din figura 19.14 ţinând seama de următoarele aspecte:

- se introduce placa *1* în secţiunea de măsurări *2* (v. fig.19.2) a tunelului aerodinamic, cu muchia teşită în partea de jos;
- prin cele 4 şuruburi *2* consola se fixează în secţiunea de lucru;
- în gaura centrală din secţiunea de lucru se introduce butonul rotativ *3* care permite deplasarea longitudinală a plăcii;

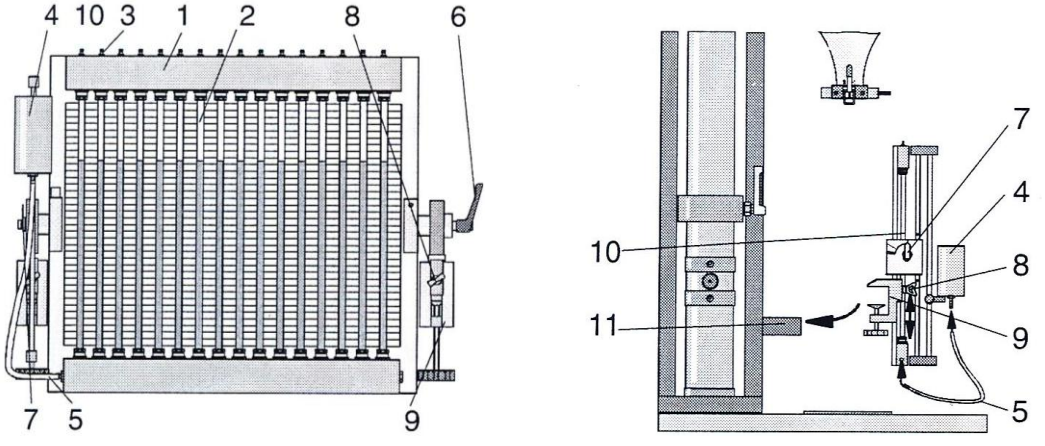


Fig.19.10. Manometrul multitub [4]

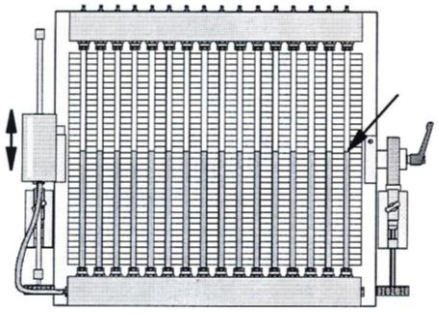


Fig.19.11. Alimentarea cu apă [4]

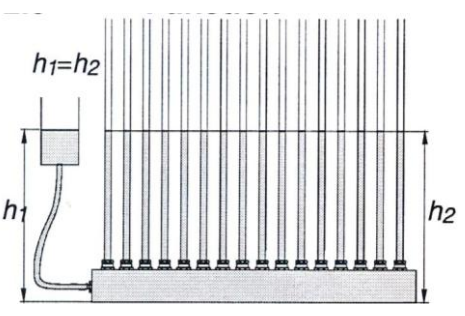


Fig.19.12. Nivelul apei [4]

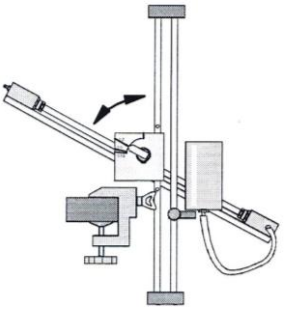


Fig.19.13. Reglarea înclinării [4]

- se desface şurubul cu cap striat *4* care fixează tubul *Pitot 5*;
- se ridică tubul *Pitot 5* până la o ditanţă de aprox. 100 mm de suprafaţa superioară a secţiunii de lucru, pentru a evita contactul cu placa *1*;
- se introduce micrometrul *6* împreună cu tubl *Pitot 5* în secţiunea de lucru dinspre partea superioară a secţiunii şi se fixează cu şurubul cu cap striat;

- prin intermediul micrometrului *6* se realizează contactul dintre tubul *Pitot 5* şi placa *1*;

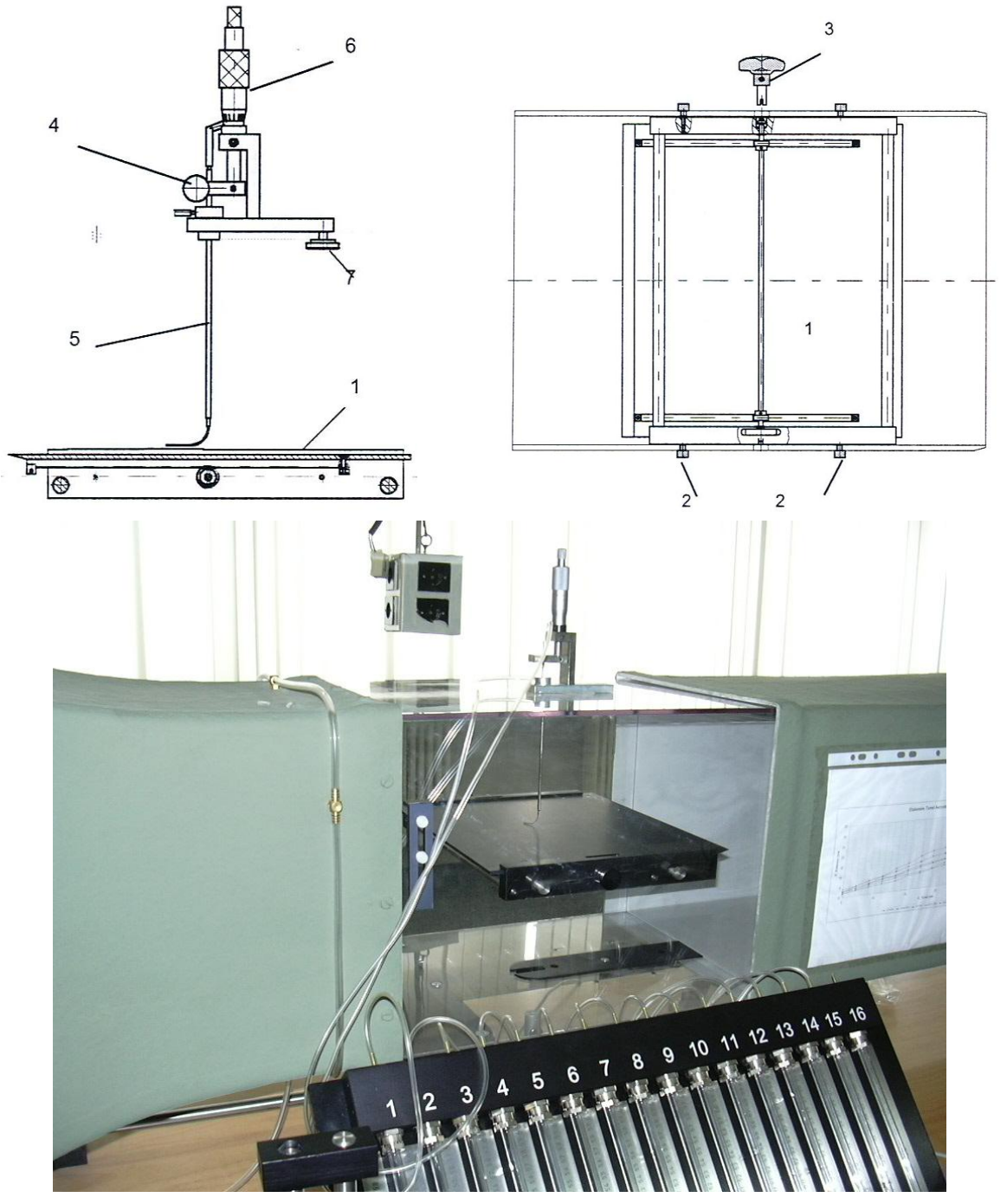


Fig.19.14. Sistemul de testare [3, 4]

- se aliniază *tubul Pitot 5* cu vârful în sens opus sensului curgere a aerului şi se fixează prin intermediul şurubului cu cap striat;
- duzele superioare ale tuburilor manometrice ale manometrului multitub sunt conectate prin intermediul furtunelor flexibile la duzele dispozitivului de măsurare;
- duza rezervorului *4* (v. fig.19.10) este conectată printr-un furtun flexibil la secţiunea de măsurare *4* pentru măsurarea presiunii statice (măsurarea presiunii statice se poate

realiza şi fără această conexiune, prin intermediul manometrului înclinat *10* al tunelului aerodinamic – v. fig.19.2);

Fig.19.15. Panoul de comandă

- se înclină manometrul multitub pentru a asigura un domeniu de măsurare de ±500 Pa (în cazul înclinării, valoarea citită trebuie împărţită la factorul de înclinare);
- se aliniază rezervorul *3* la poziţia 0 prin deplasarea pe verticală;
- pe panoul de comandă *11* (v. fig.19.2) al tunelului aerodinamic, butonul *2* de alimentare cu energie electrică este poziţionat pe ON (fig.19.15);
- comutatorul ventilatorului *3* este poziţionat pe ON (v. fig.19.15);
- utilizând butonul de reglare a vitezei aerului *4*, se reglează viteza aerului în interiorul tunelului $\mathbf{v_t}$ la 20 m/s (reglarea valorii se realizează prin citirea acestora la manometrul înclinat *10* – v. fig.19.2); în caz de urgenţă se poate utiliza butonul *1* de oprire automată a sistemului v. fig.19.15);

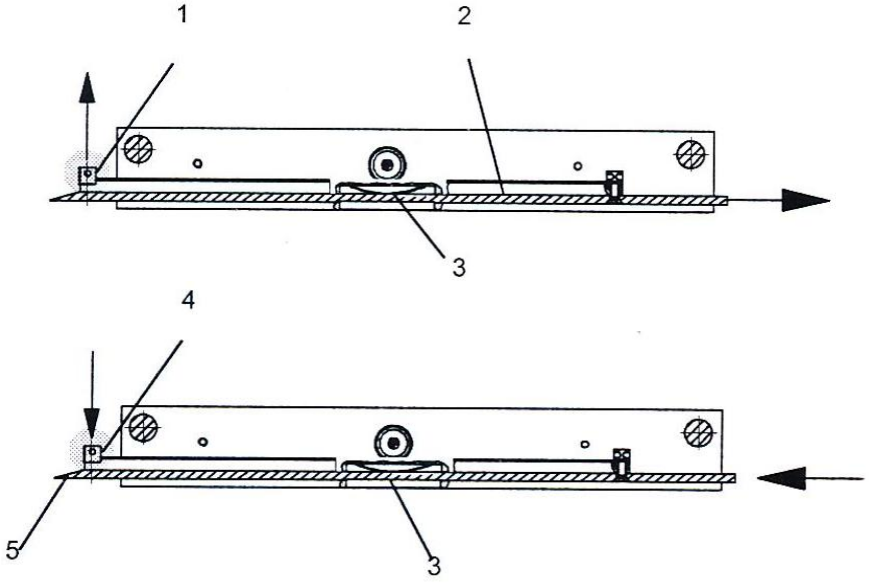


Fig.19.16. Montarea/demontarea plăcii [3]

- se citeşte valoarea presiunii statice p_{stat} pe manometrul multitub sau pe manometrul înclinat *10* al tunelului aerodinamic – v. fig.19.2;
- se aliniază placa în poziţia x=0 mm;

- se citeşte valoarea presiunii dinamice p_{din}, la contactul dintre vârful tubului *Pitot 5* şi placa *1*; ţinând seama de diametrul tubului (0,7 mm) această valoarea corespunde pentru y=0,35 mm;
- se repetă măsurătorile pentru valori ale înălţimii y conform tabelului 19.1;
- se deplasează placa longitudinal şi se repetă măsurătorile pentru x=50, 100, 150 mm);
- se calculează valorile vitezei de curgere a aerului cu relaţiile (19.1) şi (19.2);
- se demontează placa (fig.19.16); se desfac şuruburile de fixare *1* ale angrenajului roată – cremalieră; se scoate placa prin deformarea arcului *3*; se desfac şuruburile de fixare *4* şi se introduce placa nouă; se verifică orientarea părţii teşite *5* (orientată în sens invers curgerii aerului, spre partea inferioară a secţiunii de lucru);
- se repetă măsurătorile pentru a doua placă.

19.4. Rezultate

Rezultatele măsurătorilor şi ale calculelor se trec în tabelele 19.1 şi 19.2.

Se trasează diagramele de variaţie a vitezei aerului în funcţie poziţiile x şi y, pentru fiecare placă (v. fig.19.1).

19.5. Concluzii

Se identifică concluziile pentru zonele de curgere laminară (viteză constantă) şi turbulentă (viteză variabilă).

Tabelul 19.1

Placa I, R_z=25 μm, v_∞=20 m/s, ρ=1.2255 kg/m^3, p_{stat}= Pa								
y, mm	x=0 mm		x=50 mm		x=100 mm		x=150 mm	
	p_{din}, Pa	v, m/s	p_{din}, Pa	v, m/s	p_{din}, Pa	v, m/s	p_{din}, Pa	v, m/s
0,35								
0,75								
1								
1,25								
1,5								
2,5								
3,5								
4,5								
5,5								
6,5								
8,5								
10,5								

Tabelul 19.2

Placa II, R_z=400 μm, v_∞=20 m/s, ρ=1.2255 kg/m^3, p_{stat}= Pa								
y, mm	x=0 mm		x=50 mm		x=100 mm		x=150 mm	
	p_{din}, Pa	v, m/s	p_{din}, Pa	v, m/s	p_{din}, Pa	v, m/s	p_{din}, Pa	v, m/s
0,35								
0,75								
1								
1,25								
1,5								
2,5								
3,5								
4,5								
5,5								
6,5								
8,5								
10,5								

Bibliografie

1. www.gunt.de
2. * * *. Equipment for Engineering Education. Operating Instructions. HM170 Educational Wind Tunnel. G.U.N.T. Gerätebau GmBH. Barsbüttel, Germany.
3. * * *. Equipment for Engineering Education. Operating Instructions. HM170.24 Boundary Layer Plate with Probe. G.U.N.T. Gerätebau GmBH. Barsbüttel, Germany.
4. * * *. Equipment for Engineering Education. Experiment Instructions. HM170.50 Multi-Tube Manometer Panel. G.U.N.T. Gerätebau GmBH. Barsbüttel, Germany.

Aplicaţia 20

STUDIUL PUTERII GENERATE DE O TURBINĂ EOLIANĂ DE TIP *ELE – 1kW*

20.1. Obiectivul aplicaţiei

Turbina eoliană de tip ***ELE – 1kW*** instalată pe Colina Universităţii Transilvania din Braşov (fig.20.1) este caracterizată prin curba de putere prezentată în fig.20.2.

Fig.20.1. Turbina eoliană ***ELE – 1kW***

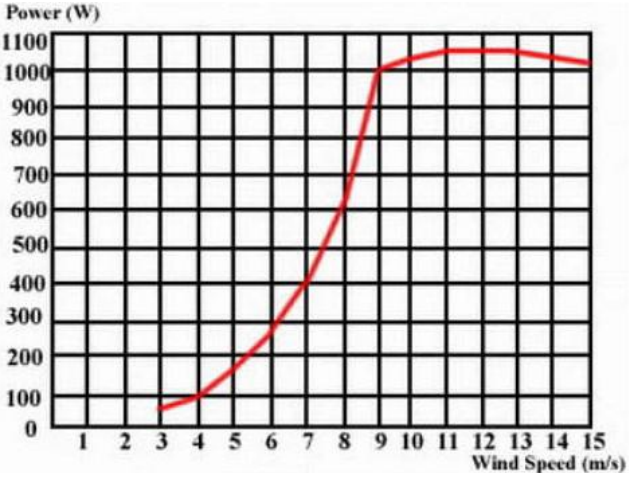


Fig.20.2. Curba de putere [2]

Puterea electrică generată de către turbină se exprimă prin

$$P = UI = \frac{U^2}{R}, \qquad (20.1)$$

unde U reprezintă tensiunea electrică, I intensitatea curentului electric iar R rezistenţa electrică.

Aplicaţia îşi propune să realizeze studiul puterii generate de către turbina eoliană ***ELE – 1kW***.

20.2. Echipamente

Turbina eoliană ***ELE – 1kW*** (fig.20.3) generează puterea electrică de 1 kW cu 24 V la viteza vântului de 10,5 m/s; viteza de pornire este la 3,1 m/s. Diametrul rotorului este 3,1 m iar înălţimea stâlpului pe care este montată nacela este 21 m.

Încărcarea bateriilor cu gel (fig.20.3) este controlată prin sistemul de control din fig.20.4. Invertorul din fig.20.5 realizează transformarea curentului continuu în curent alternativ.

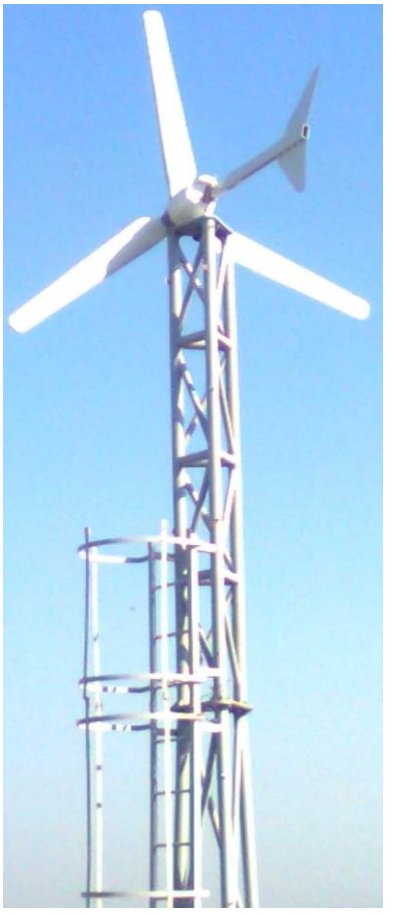


Fig.20.3. Turbina eoliană ***ELE – 1kW***

Fig.20.4. Bateriile

Fig.20.5. Sistemul de control

Fig.20.6. Invertorul

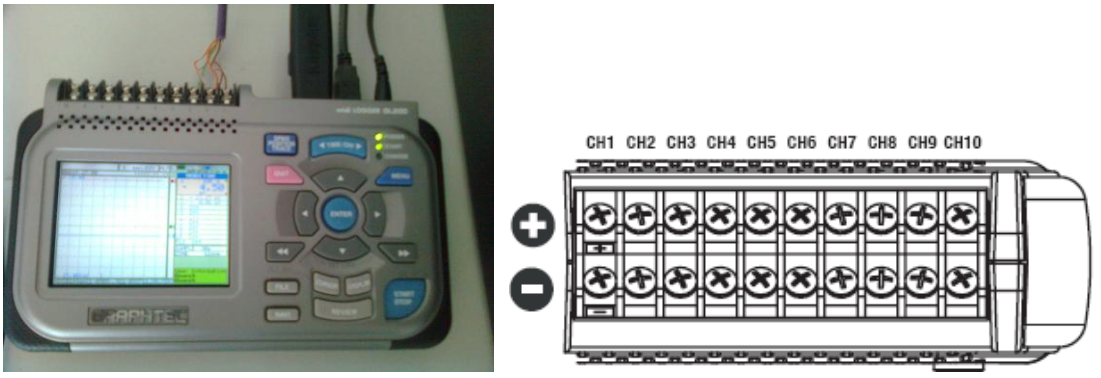


Fig.20.7. Data loger-ul [1, 2]

Achiziţia datelor se realizează prin intermediul unui data logger de tip *Graphtec* (fig.20.7) care oferă posibilitatea de salvare a datelor pe stick de memorie USB sau direct la calculator; formatul fişierelor salvate este compatibil *Excel*. Data logger-ul conţine 10 canale de achiziţie analogice (v.fig.20.7).

Fig.20.8. Sistemul de testare

20.3. Testări

Pentru realizarea testărilor se realizează sistemul de testare din figura 20.8, ţinând seama de următoarele aspecte:

- se conectează firul de achiziţie a datelor (tensiunea generată de turbină) la canalul *1* al data logger-ului;

- se introduce stick-ul de memorie în data logger;
- se porneşte data logger-ul;
- prin butonul *Menu* se activează fereastra *Amp* (fig.20.9);
- prin săgeată jos ▼ se selectează canalul *1* (v. fig.20.9);
- se verifică să fie selectată varianta *DC* (v. fig.20.9);

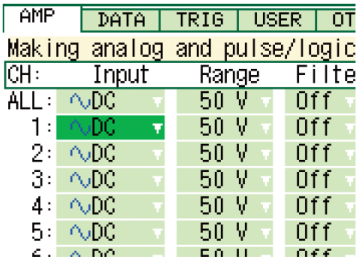


Fig.20.9. Meniul *Amp* [1]

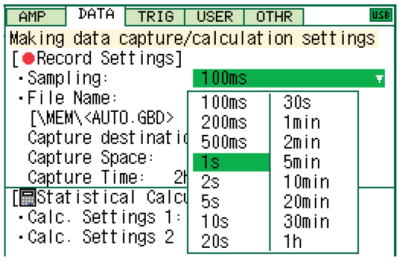


Fig.20.10. Meniul *Data* [1]

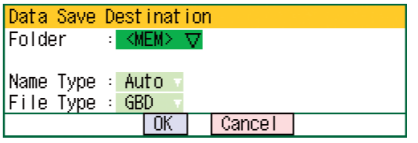


Fig.20.11. Meniul *File Name* [1]

- prin săgeată dreapta ► se setează intervalul de valori *Range* la 50 mV;
- prin săgeată dreapta ► se setează *Misc* la 50 mV;
- prin săgeată sus ▲ se revine la meniul *Amp* şi apoi, prin săgeată dreapta ► se activează meniul *Data* (fig.20.10);
- prin săgeată jos ▼ se activează *Sampling* şi se setează achiziţia la 1 s (v. fig.20.10);
- prin săgeată jos ▼ se activează folder-ul de achiziţie *File Name* (fig.20.11);
- se selectează prin *Enter* un folder de pe stick-ul USB;
- Se setează tipul fişierului de date *File Type* la *CSV* (format compatibil *Excel*);
- prin *Quit* se părăsesc meniurile de setări;
- se porneşte achiziţia prin butonul Start/Stop;
- după 30 min. se opreşte achiziţia prin butonul *Start/Stop*.

20.4. Rezultate

Fişierul generat se deschide cu programul *Excel* şi se salvează în format *.xls*. Se generează cu relaţia (20.1) valorile puterii generate de către turbina eoliană; se consideră tensiunea *U* măsurată în mV, iar valoarea lui *R*=0,132 Ω.

Se reprezintă grafic valoarea puterii instantanee generate.

20.5. Concluzii

Se identifică concluziile referitoare la variaţia puterii generate de turbina eoliană.

Bibliografie

1. * * *. Midi LOGGER GL200 Quick Start Guide. GL200 – UM -851. China, 2006.
2. www.navzar.ro